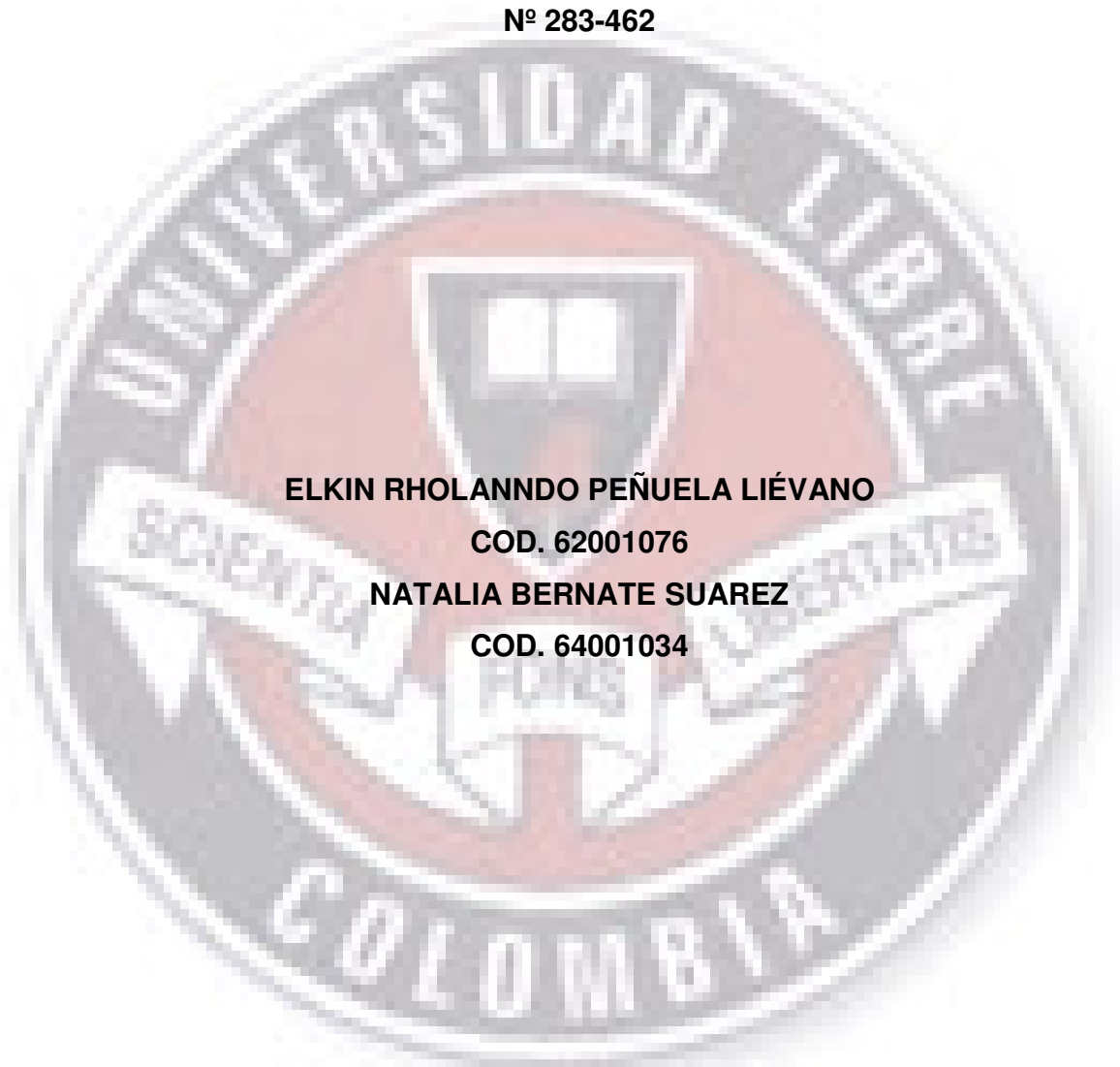


DISEÑO DE UN BIODIGESTOR  
PARA LA UNIVERSIDAD LIBRE  
**No. 283-462**

---

**DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA UNIVERSIDAD LIBRE**  
**Nº 283-462**



**ELKIN RHOLANNO PEÑUELA LIÉVANO**

**COD. 62001076**

**NATALIA BERNATE SUAREZ**

**COD. 64001034**

**UNIVERSIDAD LIBRE**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL**  
**BOGOTÁ**  
**2005**

**DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA UNIVERSIDAD LIBRE**

**Nº 283-462**

**ELKIN RHOLANNO PEÑUELA LIÉVANO**

**COD. 62001076**

**NATALIA BERNATE SUAREZ**

**COD. 64001034**

**PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO PRERREQUISITO PARA  
OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL Y AMBIENTAL  
RESPECTIVAMENTE**

**DIRECTOR:**

**MANUEL ALFONSO MAYORGA MORATO**

**Ing. Industrial**

**UNIVERSIDAD LIBRE**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL**

**2005**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Bogotá D.C., Agosto de 2005**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Dios, a mi Hijo y a mi Mami por ser la fuente de fuerza, Sabiduría e inspiración. Mi Dios por ser la guía espiritual de mis actos y el apoyo para ser quien hoy realmente soy. Mi Bebe por ser aquel pequeño ser que lleno mi vida de esperanza y felicidad, y mi razón para luchar, ser y existir. Mi Mamí por ser la mujer que entregó sus sueños y sus noches para velar por mi formación como hombre. Y a mi Familia por ser de gran apoyo para la culminación de mi carrera.

ELKIN PEÑUELA

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi hijo por ser la razón principal de mi esfuerzo y dedicación, por que gracias a su existencia ha dado a mi vida el más grande impulso para ser mejor cada día. A mis padres quienes merecen y esperan todo de mí, por que es gracias a sus sacrificios y lucha que yo llegué hasta este punto de mi carrera. Y a mis hermanos por su paciencia y apoyo.

NATALIA BERNATE

## TABLA DE CONTENIDO

### INTRODUCCIÓN

### RESUMEN ANALÍTICO

### ABSTRACT

### 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1	Objetivos.....	12
1.1.1.	Objetivo General.....	12
1.1.2.	Objetivos Específicos.....	12
1.2	Variables.....	13
1.2.1.	Variables Dependientes.....	13
1.2.2.	Variables Independientes.....	13
1.2.3.	Variables intervinientes.....	14
1.3	Justificación .....	15
1.4.	Problema.....	16
1.4.1.	Descripción del Problema.....	16
1.5	Delimitación del Tema.....	16
1.5.1.	Formulación.....	17

### 2. EL BIODIGESTOR

2.1.	Marco Teórico.....	18
2.1.1.	Biogás.....	18
2.1.2.	Los Bioreactores y los Biodigestores.....	19
2.1.3.	Procesos aeróbicos.....	21
2.1.4.	Procesos anaeróbicos.....	21
2.1.5.	Clases de Biodigestores.....	24
2.1.6.	ISO 14000/ISO 14001.....	28
2.2	Marco Histórico.....	30
2.2.1.	Historia de los Biodigestores.....	30
2.2.2.	Energía Alternativa.....	31
2.2.3.	Desarrollo de SGA ISO 14000/ SEG ISO 14001.....	32
2.2.4.	Investigaciones anteriores en la Universidad Libre.....	32
2.2.5.	Sistema Agrícola energético integrado .....	33
2.2.6.	Cultivo de Spirulina en Cali Colombia .....	35
2.3	Marco conceptual.....	36

### 3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1	Diseño del Biodigestor.....	41
3.1.1.	Generalidades del proceso.....	41
3.1.1.1.	Recolección de materia.....	42
3.1.1.2.	Características del Biodigestor.....	48
3.1.1.3.	Producción y conducción de biogás.....	53
3.1.1.4.	Utilización del biogás.....	57

### 4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1.	Evaluación de la producción y utilización actual del material Orgánico.....	63
4.2.	Identificación de las necesidades de la utilización del biodigestor .....	63
4.3.	Determinación del diseño .....	64
4.3.1.	Condiciones de diseño .....	64
4.3.1.1.	Requerimientos .....	64
4.3.2.	Selección de diseño.....	65
4.4.	Determinación de formulas .....	66

### 5. MEMORIA DE CÁLCULOS

5.1	Cálculo de la cantidad de residuos orgánicos.....	67
5.1.1.	Hojas.....	67
5.1.2.	Pasto.....	68
5.1.3.	Materia prima para carga.....	68
5.1.4.	Sólidos totales.....	69
5.1.5.	Masa de agua para mezcla.....	69
5.1.6.	Carga.....	69
5.1.7.	Cálculo del tiempo de retención.....	70
5.1.8.	Volumen del digestor.....	71
5.2	Costo de construcción.....	72

### 6. RECOMENDACIONES.....74

#### Conclusiones

#### Bibliografía

#### Infografía

#### Anexos

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición del biogás.....	19
Tabla 2. Resumen de características de algunos tipos de Biodigestores.....	49
Tabla 2. Resumen de características de algunos tipos de Biodigestores.....	51
Tabla 4. Consumo de biogás.....	60
Tabla 5. Valores y características de algunos desechos Vegetales.....	67



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva de crecimiento bacteriano.....	20
Figura 2. Biodigestor de estructura sólida fija.	
Tanque cilíndrico.....	25
Figura 3. Biodigestor de estructura sólida móvil.....	26
Figura 4. Digestor de balón de plástico.....	27
Figura 5. Componentes de un sistema de biogás.....	41
Figura 6. Tiempo de retención en función de la temperatura.....	52
Figura 7. Válvulas para gas .....	56
Figura 8. Accesorios para purificación de gas .....	57
Figura 9. Valores de PH para la Producción de Biogás.....	77

## INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas estamos asistiendo a un enorme desarrollo en lo que podríamos englobar bajo el término genérico de “ciencias de la ingeniería”. Se están realizando importantes avances en los estudios de nuevas tecnologías y aplicaciones de la ingeniería, que involucran tanto a los aspectos estrictamente teóricos o conceptuales como a los metodológicos. Así mismo, se está viendo un acercamiento entre las diferentes facultades y áreas de la ingeniería, permitiéndose de esta manera encontrar un enfoque más amplio de la funcionalidad de dichas carreras al fusionarlas, encontrando un equilibrio entre el desarrollo Industrial y la conservación Ambiental.

El Diseño de un Biodigestor para la Universidad Libre, se desarrollo por el grupo de estudiantes de Ingeniería, de una manera clara y precisa, puntualizando y unificando los conocimientos y métodos necesarios para hacer de este trabajo de investigación un documento que sirva como base de estudio para nuevos proyectos.

Este diseño muestra la importancia de su aplicación al confrontarla con la situación actual en la que no se da un procesamiento y manejo al material orgánico (pasto, hojas secas) dispuesta en las instalaciones, mostrando con él, también las ventajas absolutas de su aplicación.

## **RESUMEN ANALÍTICO**

Se realizó un estudio técnico y económico que arrojó como resultado el Diseño de un Biodigestor de estructura Sólida Fija, que aprovecha y Procesa el material orgánico dispuesto en las instalaciones de la Universidad Libre tales como el corte del pasto y hojas secas, a través de la acción de las Bacterias metanogénicas, obteniendo como producto final Biogás. Este gas biológico puede ser utilizado como combustible para un motor de combustión interna, para producir energía y ser utilizada posteriormente en los laboratorios de mecánica. Además puede ser utilizada en equipos a gas como sustituto de gas propano, contribuyendo a la disminución de costos y al desarrollo Industrial y Ambiental de la Universidad.

**PALABRAS CLAVES:** digestión anaerobia, Biogás, Biodigestores, Bacterias metanogénicas.

## **ABSTRACT**

We have done a technical and economical study that gave us the result of a Biodigestor design of a solid structure, that processes an organic material, it's found in the installations of through the action of the methanogenics bacteria obtaining as the final product Biogas. This Biological Gas can be used as fuel for an internal combustion engine to produce the energy and to be used finally in the mechanic laboratories. It can also be used in gas equipment as a substitute of propane gas. This contributes to Decrease the income to the industrial and environment development of the university.

**KEY WORDS:** Anaerobic digestion, Biogas, Biodigestors, Methanogenics Bacteria.

## **1. GENERALIDADES DEL PROYECTO**

### **OBJETIVOS**

#### **1.1.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un Biodigestor para la obtención de Biogás a partir de la descomposición del material orgánico dispuesto en las instalaciones de la Universidad Libre mediante el uso de bacterias metanogénicas, con el fin de obtener economía de energía para el funcionamiento de los equipos de laboratorio y mejora de las condiciones ambientales de la universidad, apoyándose en las normas ISO 14000-ISO 14001.

#### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Evaluar la Producción y utilización actual del material orgánico producido por los procesos naturales y de mantenimiento dentro de las instalaciones de la Universidad Libre.
- Identificar las necesidades de la utilización del Biodigestor como solución para mejorar la utilización de los recursos económicos y biológicos.
- Determinar el diseño y características más convenientes para el Biodigestor teniendo en cuenta factores de disposición como la cantidad de carga orgánica y los costos de su implementación frente a los costos en los que se incurren actualmente, como alternativa, para hacer de este un proceso eficiente.

- Identificar los criterios y métodos necesarios que permitan que el diseño y producción del Biodigestor sean más eficientes.
- Determinar los modelos necesarios para realizar la planificación, control y seguimiento del proceso productivo ecológico, de acuerdo a los requerimientos de las normas ISO 14000-ISO 14001, y otras normas de producción limpia.
- Documentar los resultados obtenidos para posteriores estudios de implementación en las instalaciones de la universidad.

## **1.2. VARIABLES**

De acuerdo con los requerimientos para el diseño de un Biodigestor y a los requisitos ambientales en las normas ISO 14000- ISO 14001 (SGA) las variables son las siguientes:

### **1.2.1. Variables Dependientes.**

- Aprovechamiento de recursos. Utilización del Biodigestor como mejor alternativa para la producción de Biogás y su posterior utilización a partir del uso del material biodegradable.

### **1.2.2. Variables Independientes.**

- Carga orgánica. Determinación de la carga orgánica (pasto producto del corte, hojas secas) promedio producida por los diferentes procesos naturales

y de mantenimiento dentro de las instalaciones de la Universidad Libre Bosque Popular.

- Diseños. Diseños que se acoplen estrictamente con la variable anterior, teniendo en cuenta la ubicación, impacto ambiental, costo y viabilidad del mismo en la Universidad Libre.
- Criterios y métodos. los criterios y métodos necesarios para garantizar que la determinación del diseño a escoger sea el más conveniente y eficaz para realizar la descomposición de la materia orgánica y la producción del Biogás.
- Planificación, control y seguimiento. Método que permite realizar un seguimiento y evaluar las acciones correctivas, para asegurar que el sistema ecológico continúe siendo apropiado con relación a los requerimientos establecidos en las normas ISO 14000- ISO 14001 (SGA).

#### 1.2.3. Variables intervinientes.

- Normas vigentes. en la actualidad no existen Normas que determinen el control de la producción de Biogás, por lo que se planteo la necesidad de realizar un proceso de análisis de las capacidades de producción y sus probables consecuencias para el medio Ambiente. Determinando con ello que el diseño elegido es el más conveniente, ya que por su seguridad y

facilidad de manejo se evita la fuga de gases tóxicos para la atmósfera tal y como lo es el metano.

### 1.3. JUSTIFICACIÓN

Toda empresa y entidad debe buscar un mejoramiento continuo de los procesos de producción que cumplan con todas las normas legales de la institución y las especificaciones de calidad del producto. La Universidad Libre por ser una institución educativa que tiene entre sus facultades de mayor tradición la de Ingeniería, debe incentivar entre los estudiantes el espíritu investigativo buscando la interacción entre diferentes programas de Ingeniería. En este caso se pretende realizar un proyecto que permita la posible creación de Industria que sea compatible con un adecuado manejo ambiental, implementado así los procesos de producción limpia y creando así excelentes Ingenieros competentes.

Con el fin de alcanzar estos objetivos de mejoramiento continuo es necesario que exista también un desarrollo sostenible, mostrando soluciones para el aprovechamiento de los recursos, contribuyendo así al mantenimiento del campus de la Universidad, generando no solo una utilidad económica sino de protección del medio ambiental, siendo el campus una de las fortalezas de la universidad.

La utilización de bacterias metanogénicas para la descomposición y transformación del material orgánico, como lo son los residuos generados por el corte de pasto, la poda de los árboles y arbustos, y las hojas secas, en condiciones anaerobias, traería consigo una disminución en los costos de mantenimiento y funcionamiento de la universidad, ya que al no aprovechar este recurso es necesario pagar a terceros para que retiren, boten y alejen este material de la Universidad Libre, siendo posible a cambio darle una función explícita dentro del proceso de producción de Biogás como materia prima en un Biodigestor.

Esta investigación tiene como propósito sugerir aplicaciones para el uso de este gas específicamente como fuente de energía para los laboratorios y posiblemente



para otros sectores dentro de la misma universidad dependiendo de la capacidad creada del Biodigestor.

Además esta investigación queda como un documento que sirva de soporte para futuros investigadores de esta universidad que quieran implementar mejoras en este tema.

## **1.4 PROBLEMA**

### **1.4.1. Descripción del problema.**

La Universidad Libre Bosque Popular desecha una gran cantidad de material orgánico (pasto producto del corte, hojas secas), para lo cuál debe contratar a terceros para dicha labor, incurriendo en altos costos como los de valerse de los servicios de la empresa de aseo ATESA para el posterior desecho del material biodegradable, determinándose que dicho procedimiento no es el más eficiente. Por lo tanto se hace necesaria la implementación de nuevas alternativas para el aprovechamiento del pasto y de las hojas secas.

## **1.5 DELIMITACIÓN DEL TEMA**

Este proyecto se encuentra delimitado desde la determinación de la carga de material orgánico promedio disponible, identificación de los procesos efectuados por la acción de las bacterias metanogénicas, hasta la determinación del diseño

apropiado de un Biodigestor para la Universidad Libre Bosque Popular acorde a la ubicación, impacto ambiental, análisis de costos y evaluación del diseño, que se

realizara durante el año en curso 2004. Teniendo en cuenta la temática de control ambiental y producción.

#### 1.5.1 Formulación

Con base a los requerimientos planteados se hace necesario Diseñar un Biodigestor para la Universidad Libre Bosque Popular, que redunde en el desarrollo de la institución.

## **2. EL BIODIGESTOR**

### **2.1 MARCO TEORICO**

#### **2.1.1. Biogás.**

El biogás es un gas obtenido mediante el proceso de biodegradación de material orgánico en condiciones anaeróbicas (sin aire). La generación natural de biogás es una parte importante de la biogeoquímica del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente. Este proceso que genera biogás es una fuente de energía renovable<sup>1</sup>.

Cada año, la actividad microbiana libera entre 590 y 880 millones de toneladas de metano a la atmósfera. Cerca del 90% del metano emitido proviene de la descomposición de biomasa. El resto es de origen fósil, o sea relacionado con procesos petroquímicos. La concentración de metano en la atmósfera en el hemisferio norte es cerca de 1,65 por millón.

Para diseñar, construir y operar plantas de biogás (llamadas biodigestores) es necesario conocer los procesos fundamentales involucrados en la fermentación del metano. La fermentación anaeróbica involucra la actividad de tres diferentes comunidades bacterianas. El proceso de producción de biogás depende de varios parámetros que afectan la actividad bacteriana, como por ejemplo la temperatura.

Los sustratos dispuestos para estos procesos que producen una mayor cantidad de biogás por unidad de volumen son entre algunos: la excreta animal, la cachaza

---

<sup>1</sup>. Tomado: GopalaKrishnan; Eggeling et al 1985.

de la caña de azúcar, los residuales de mataderos, destilerías y fábricas de levadura, la pulpa y la cáscara del café, así como la materia seca vegetal.

Las ventajas que trae consigo la producción de Biogás a partir de un Biodigestor es la de permitir la disminución de la tala de los Bosques al no ser necesario el uso de leña para cocinar; diversidad de usos como el alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, transporte automotor y otros. El Biodigestor produce biofertilizante rico en nitrógeno, fósforo y potasio, capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son más costosos y dañan el medio ambiente, y además elimina los desechos orgánicos, etc.

**Tabla 1 – Composición del Biogás.**

COMPONENTE	PORCENTAJE
Metano	60-80
Gas Carbónico	30-40
Hidrógeno	6-10
Nitrógeno	1-2
Monóxido de Carbono	0-1.5
Oxígeno	0.1
Ácido Sulfhídrico	0-1
Vapor de Agua	0.3
CARACTERÍSTICAS DEL METANO	
Densidad	1.09 Kg/m <sup>3</sup>
Solubilidad en agua	Baja
Presión crítica	673.1 Psia
Temperatura crítica	82.5° C
Poder Calorífica	4500-6500 Kcal/m <sup>3</sup>

Fuente: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME  
Guía de Implementación de Sistemas de Biogás. Marzo de 2003

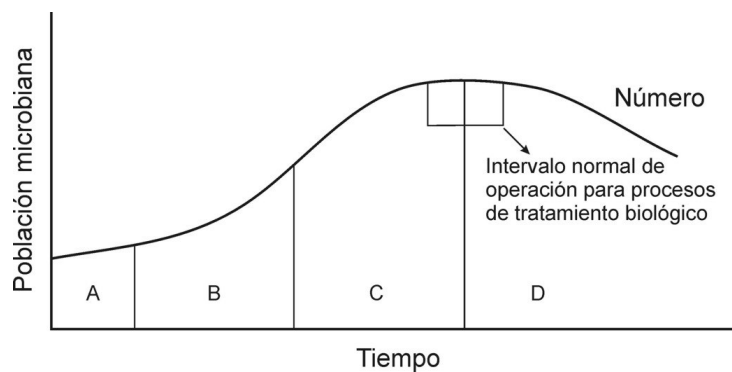
### 2.1.2. Los Bioreactores y los Biodigestores.

La construcción de bioreactores y biodigestores se basa en el principio de hacer que los contaminantes se conviertan en el sustrato (alimento) de los microorganismos, y que éstos, al mismo tiempo que se alimentan y aumentan su población, descontaminen el agua.

Para la construcción de un bioreactor o un Biodigestor es necesario conocer el tipo de microorganismos con los que estamos trabajando y la curva de crecimiento característica de ellos. Las curvas de crecimiento microbiano<sup>2</sup>, de forma general, poseen cuatro fases en el tiempo (ver Fig1.).

1. Fase de latencia
2. Fase de crecimiento logarítmico
3. Fase de crecimiento menguante
4. Fase endógena

**Figura 1. Curva de crecimiento bacteriano**



Fuente: (Tomado de Henry, 1999).

El factor clave de un bioreactor o un Biodigestor es lograr mantener a los microorganismos en la fase C la mayor parte del tiempo que sea posible, es decir, mantener a la población microbiana a su máximo nivel, para optimizar la eficiencia de los procesos de degradación. Esto se logra regulando las condiciones del medio (temperatura, PH, aireación, etc.) y los flujos de entrada y salida, de manera que nunca falte alimento y no se llegue a la fase D. Dentro de los procesos biológicos empleados para la construcción de bioreactores y biodigestores, existen

---

<sup>2</sup>. Descontaminación productiva de aguas utilizadas en labores domésticas y en sistemas de producción en zonas de montaña. CIPAV – CENDI. Cali, Colombia.

dos tipos fundamentales de procesos: los procesos aeróbicos y los procesos anaeróbicos.

#### 2.1.3. Procesos aeróbicos.

Los procesos aeróbicos son aquellos que necesitan de oxígeno. Existen procesos aeróbicos estrictos, que son aquellos que solamente pueden funcionar si hay oxígeno, y los procesos aeróbicos facultativos, que son los que pueden alternar con anaeróbicos, de acuerdo a la concentración de O<sub>2</sub> disponible.

De manera general, los procesos aeróbicos tienen la siguiente reacción:



Como se puede apreciar en la ecuación anterior, el metabolismo aeróbico se encarga de catalizar moléculas más grandes en CO<sub>2</sub> y agua, fundamentalmente. Los diferentes grupos de microorganismos tienen metabolismos diferentes y por lo tanto son capaces de catalizar una amplia gama de sustancias, aunque algunas veces se obtienen otros productos secundarios además de los mencionados.

Los procesos aeróbicos son muy eficientes, funcionan con una amplia gama de sustancias posibles de degradar en ciclos relativamente sencillos.

#### 2.1.4. Procesos anaeróbicos.

En el proceso de digestión anaerobia, la materia orgánica es transformada en los gases metano y dióxido de carbono. Este proceso biológico natural es realizado por grupos o comunidades de bacterias en recipientes cerrados (reactores).

Esta conversión biológica del sustrato complejo, en el que se encuentra materia orgánica en suspensión o disuelta, se realiza a través de una serie de reacciones bioquímicas que transcurren tanto consecutiva como simultáneamente, y cuyo

proceso podemos dividir en tres etapas: hidrólisis, fermentación acetogénica y fermentación metanogénicas.

### Hidrólisis.

Durante esta fase se verifica la hidrólisis (licuefacción) y posteriormente fermentación de las sustancias orgánicas de elevado peso molecular, tales como lípidos, proteínas e hidratos de carbono, que se encuentran en suspensión o disueltas. Estas sustancias quedan transformadas y reducidas a otros compuestos orgánicos de cadena molecular más corta, principalmente en ácidos grasos volátiles y gases  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2$ .

Este metabolismo anaerobio lo realizan bacterias de crecimiento rápido, que fermentan la glucosa para producir los mencionados ácidos. El PH de la operación suele ser inferior a 7.

### Fase acetogénica

Los productos finales de la etapa anterior son transformados en acetato, hidrógeno y  $\text{CO}_2$  por un grupo de bacterias que aportan aproximadamente el 54% del hidrógeno que se utilizara en la formación del metano. La función de estos microorganismos en el proceso de la digestión anaerobia es el de ser donantes de hidrógeno,  $\text{CO}_2$  y acetato para las bacterias metanogénicas, es decir, en pocas palabras que en esta etapa las bacterias acetogénicas convierten las moléculas orgánicas de pequeño tamaño y los ácidos grasos volátiles en ácido acético e hidrógeno.

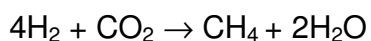
### Fase metanogénica

En esta última etapa, las bacterias metanogénicas (anaerobias estrictas) son esenciales para este tipo de digestión, por ser los únicos microorganismos que pueden catabolizar anaerobiamente el ácido acético e hidrógeno para dar productos gaseosos en ausencia de energía lumínica y oxígeno. Para un óptimo trabajo, el elemento acuoso circulante debe tener un PH entre 6,6 y 7,6. La temperatura es un factor muy importante para que se verifiquen éstas transformaciones metabólicas.

Para mantener un sistema de tratamiento anaeróbico que estabilice correctamente el residuo orgánico, deben hallarse en estado de equilibrio dinámico los microorganismos formadores de ácidos y metano, es decir, las reacciones deben producirse continúa y sucesivamente, ya que el funcionamiento anormal de una de ellas, dará lugar al mal funcionamiento global del proceso.

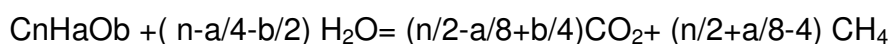
En los Bioreactores se suele aplicar una mayor temperatura los primeros 30 días para facilitar la putrefacción de la materia. La ventaja de este tipo de digestión es que genera energía en forma de metano y la producción de lodos es sólo del 10%

Las arqueobacterias metanogénicas son los únicos seres vivos capaces de obtener energía acoplando la oxidación del hidrógeno molecular con el uso de CO<sub>2</sub> como aceptor de electrones (actuando en estas condiciones como quimiolitotrofos):





La ecuación estequiométrica de **Boswel**<sup>3</sup> es aplicable a la fermentación de la materia orgánica:



#### 2.1.5. Clases de biodigestores.

De acuerdo al método de carga utilizado se distinguen dos tipos genéricos de biodigestores:

- a) Biodigestores de flujo discontinuo: Se cargan una vez y quedan cerrados por un tiempo fijo de retención hasta que haya terminado el proceso de fermentación y no haya producción de gas. En esas plantas al comienzo hay mucha masa orgánica y pocas bacterias y al final tienen muchas bacterias y poca masa orgánica.

La operación involucra principalmente cargar un Biodigestor que permanecerá cerrado con sustrato, un inoculante y en algunos casos, una base para mantener el PH casi neutral. El digestor es sellado, y la fermentación se realiza entre 30 y 180 días, dependiendo de la temperatura ambiente. Durante este período, la producción de gas aumenta paulatinamente hasta un máximo y luego declina. Esta fermentación se puede realizar con un contenido de sólidos orgánicos de 6a 10%.

- b) Digestores de flujo continuo<sup>4</sup>: Los digestores de flujo continuo son cargados y descargados en forma periódica, por lo general todos los días. Cualquier tipo de construcción es apropiada para una planta continua, pero el material de fermentación debe ser fluido y uniforme.

---

<sup>3</sup>. Kenealy et al 1981; Turzo et al 1984; Yougfut et al 1989

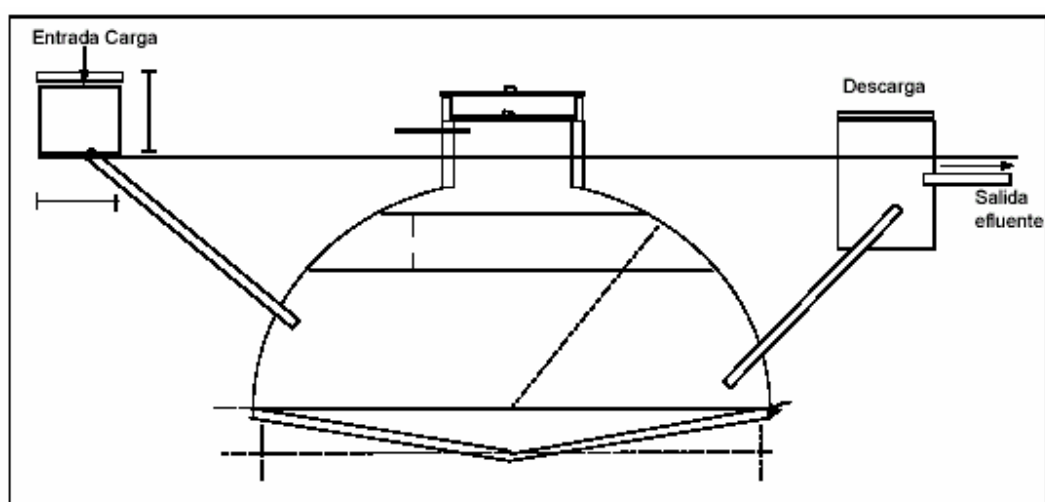
<sup>4</sup> Adaptado de: Marchaim, Uri; Biogas Processes for sustainable development; FAO; 1992

Existen muchos diseños y formas según su estructura, entre los cuales pueden citarse, como los de mayor uso, tres tipos: de estructura sólida fija, de estructura sólida móvil y de balón de plástico.

- a) De estructura sólida fija. Consiste de una cámara de gas construida de ladrillos, piedra o concreto la cual permanece inmóvil y fija. Tanto el tope como la base del reactor son semiesféricos y están unidos por lados rectos. La estructura interna es sellada por varias capas para aislar el gas. El digestor es alimentado por un tubo de carga que es recto y finaliza en la mitad de nivel dentro del digestor. Hay un tapón manual en la parte superior del digestor para facilitar su limpieza, y el conducto de salida del gas sale de la cubierta. El gas producido durante el proceso es almacenado bajo el domo y desplaza algunos de los contenidos del digestor a la cámara del efluente.

Esto crea fuerzas altas y esta es la razón por la cual el reactor tiene formas en el tope y en la base. Se recomienda que la construcción sea suelos estables y firmes. Es el tipo de digestor más común en los países en vía de desarrollo.

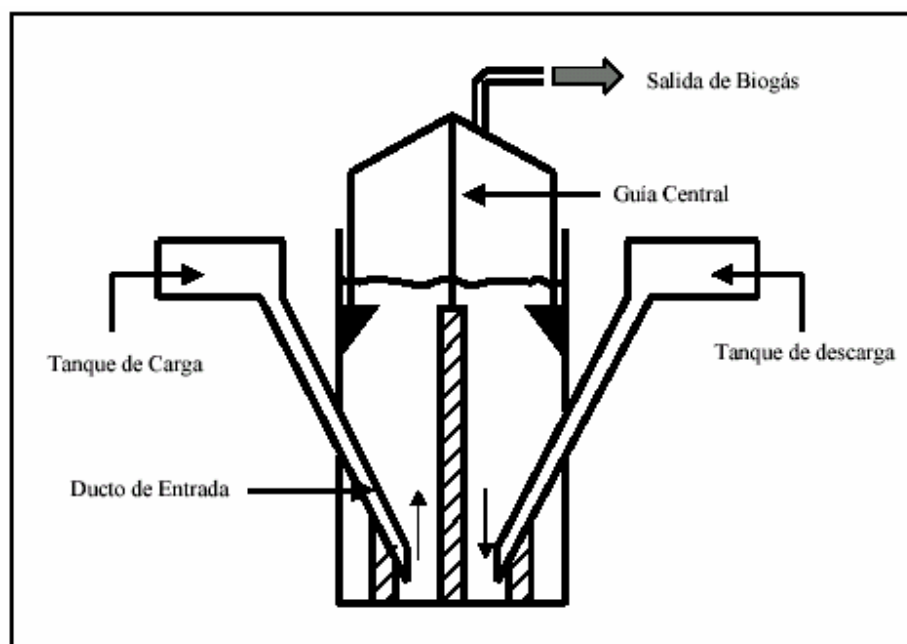
**Figura 2 - Digestor de estructura sólida fija, tanque cilíndrico.**



Fuente: Engineers for biogas. GATE-GTZ. Lengericher Handelsdruckerei, Lengerich. Alemania

b) Digestor de estructura sólida móvil. Este digestor es en forma de bóveda esférica (o cilíndrica) y tiene un depósito de gas móvil en forma de campana flotante. La campana puede flotar directamente en la carga de fermentación o en un anillo de agua cilíndrico. El gas se acumula en la campana, haciéndola subir y luego vuelve a bajar cuando se extrae el gas a través de un tubo instalado en la campana misma. Para evitar que la campana se ladee, se construye un soporte de hierro como guía. La campana además de subir y bajar, es libre de girar, así puede mover la capa que eventualmente pueda flotar en la superficie de la carga de fermentación. Para su construcción se usa comúnmente ladrillos, cemento, arena y grava: para la campana flotante, lámina de acero.

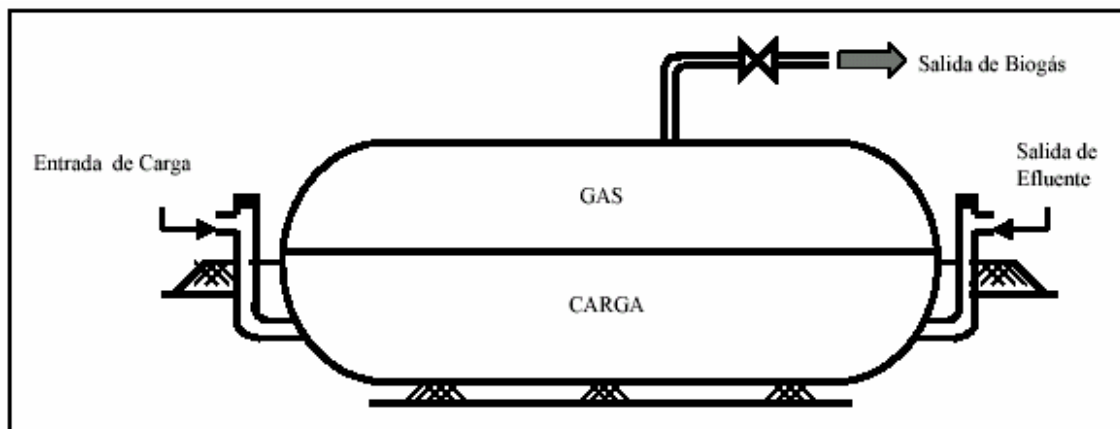
**Figura 3. Biodigestor de estructura sólida móvil.**



Fuente: Engineers for biogas. GATE-GTZ. Lengericher Handelsdruckerei, Lengerich. Alemania

c) De balón de plástico. Está compuesto de una bolsa de plástico, caucho, polietileno o geomembrana de PVC, completamente sellada. La parte inferior de la bolsa (75% de volumen) se rellena con la carga, mientras en la parte superior de la bolsa (25%) se almacena el gas. Los tubos de entrada y salida están sujetos directamente a la pared de la bolsa. Aunque este digestor actúa como un reactor de tapón de flujo, el gas puede almacenarse en una bolsa separada. El material plástico o de caucho para la planta, tiene que ser elegido con cuidado: resistente a la intemperie y a los rayos ultravioleta. Se puede recomendar para todos aquellos sitios donde no haya peligro de que se dañe la pared de la bolsa y donde predominen temperaturas altas y constantes.

**Figura 4. Digestor de balón de plástico.**



Fuente: Engineers for biogas. GATE-GTZ. Lengericher Handelsdruckereir, Lengerich. Alemania

Existen otros tipos de digestores desarrollados recientemente y en proceso de investigación entre los cuales pueden nombrarse los de Filtro Anaeróbico, Reactor de deflector anaeróbico, Procesos de contacto Anaeróbico, Digestores tubulares inclinados, etc., entre los cuales vale la pena mencionar:

- a) De tapón de flujo: A pesar de ser similar al digestor de balón de plástico, es construido con diferentes materiales y clasificado separadamente. Consiste de una zanja construida con concreto o con una membrana impermeable. El digestor se cubre con una cubierta flexible anclada al suelo, al concreto o al acero galvanizado. Estos tanques especiales son rectangulares y tratan residuos que contengan de 11% a 13% total de sólidos.
- b) De mezcla completa. Son tanques especiales, construidos sobre o bajo tierra, que tratan residuos orgánicos cuya concentración de sólidos está en un rango de 3 a 10%.

Aparte de los digestores de flujo discontinuo, todos los diseños discutidos se conocen como sistemas de crecimiento suspendido y cuando no hay reciclaje de sólidos, el tiempo de retención es igual al tiempo de retención de los sólidos biológicos.

#### 2.1.6. ISO 14000/ISO 14001

La norma ISO 14000 es una serie de registros de estándares diseñados para ayudar a organizaciones privadas y gubernamentales a establecer y evaluar objetivamente sus sistemas de gestión ambiental, proporcionando plantillas o modelos reconocidos internacionalmente, éstos estándares de calidad son voluntarios y no tiene obligación legal.

ISO 14000 requiere que las empresas definan su política ambiental, estableciendo su implementación de mejoras, desarrollando una cultura encaminada a la optimización de su gestión ambiental y llevando a cabo evaluaciones objetivas de progreso o deficiencias en el proceso de dicha gestión.

Los requisitos generales que plantea la ISO 14000 para las organizaciones que buscan la certificación ISO 14000 son que permitan:

- Establecer una política ambiental
- Identificar los aspectos ambientales más significativos.
- Identificar los requisitos legales.
- Establecer objetivos y metas ambientales.
- Establecer programas para lograr las políticas, objetivos y metas ambientales.
- Planificar, controlar, realizar seguimientos, auditorías y acciones correctivas para asegurar que el SGA continúa siendo apropiado.

La norma ISO 14001 es la que certifica las empresas o especifica las principales exigencias de un Sistema de Gestión Ambiental, en ella no se presentan criterios específicos de desempeño ambiental, pero si le exige a cada organización elaborar su propia política y contar con objetivos que estudien las exigencias legales y la información referente a los impactos ambientales significativos, esta norma también permite evaluar el ciclo de vida, siendo ésta evaluación un método analítico que permite el desarrollo de criterios y procedimientos objetivos para la evaluación del efecto ambiental de los productos. Constituye un instrumento valioso en la obtención de información detallada de los procesos y materiales para el proceso de toma de decisiones en ingeniería, tomando en cuenta el ciclo de vida total.

Para la implementación de la ISO 14001 se debe planificar un progreso, implementar el sistema y verificar el progreso.

Los requisitos fundamentales deben ser la existencia de una no-conformidad (acción correctiva y acción preventiva), los registros medioambientales y la auditoría del Sistema de Gestión Medioambiental.

## **2.2. MARCO HISTORICO**

### **2.2.1. Historia de los Biodigestores.**

Desde que el hombre aprendió a emplear el fuego, la cocción de alimentos ha llegado a ser una de las actividades fundamentales para su subsistencia. Para esto se han utilizado diferentes combustibles, entre ellos la biomasa vegetal.

Se sabe que casi tres mil millones de personas en el mundo emplean todavía la leña como fuente de energía para calentar agua y cocinar, lo que provoca, junto a otros efectos, que anualmente se pierdan en el mundo entre diez y seis (16) y veinte (20) millones de hectáreas de bosques tropicales y zonas arboladas. En respuesta a esta situación surgen varias alternativas para llevar a cabo la cocción de alimentos, que tiene bajo impacto ambiental y su fuente de energía es considerada renovable, una de ellas resulta la producción de biogás a partir de la fermentación de materia orgánica.

Según la literatura, fue en la India donde se construyó la primera instalación para producir biogás, en fecha cercana al año 1900; a partir de ese momento se ha incrementado el número de biodigestores, y actualmente funcionan en ese país alrededor de doscientas mil unidades. China es hoy la región que tiene un mayor número de este tipo de instalaciones, aproximadamente 6,7 millones de Biodigestores.

La tendencia mundial en el desarrollo de los Biodigestores es lograr disminuir los costos y aumentar la vida útil de estas instalaciones, con el objetivo de llegar a la mayor cantidad de usuarios de esta tecnología.

Actualmente en Cuba la oficina Nacional de Estadística reporta que hay 70 minidigestores instalados en Cuba con un crecimiento de 16% con respecto a años anteriores.

Este país tiene un potencial en este renglón de 152 mil toneladas de combustible convencional por año, el cual proviene de unos 78 millones de metros cúbicos al año de vertimientos de desperdicios orgánicos. Estos datos demuestran una de las cuantas aplicaciones que puede dársele a los desperdicios en una industria.

### 2.2.2. Energía Alternativa

El Grupo de Estudio sobre Energía y Ambiente (GESE) de la Universidad Tecnológica Nacional de Cuba, que se dedica a la investigación de formas de producción energética alternativa, comenzará la construcción de un prototipo de biogenerador, capaz de producir biogás utilizando residuos orgánicos como suministro, utilizando biomasa por fermentación para generadores o biodigestores anaeróbicos.

El biogás se compone principalmente de metano (70%) y el resto de dióxido de carbono, lo que lo convierte en una sustancia bastante similar al gas de uso doméstico, aunque con un poco menos de eficiencia en las kilocalorías que produce. "La gran diferencia radica en que el biogás es una energía renovable, limpia y además podremos separarle el dióxido de carbono y obtendríamos metano puro con 8.800 kilocalorías por metro cúbico de gas natural", dijo Bernardo Bucki, director del GESE, al diario Río Negro.

El grupo GESE trabaja con un equipo de dos docentes investigadores y diez becarios, que son estudiantes avanzados de las carreras de Ingeniería Química y Electrónica. La construcción del prototipo fue financiada merced al premio que obtuvo el grupo en el concurso "Ideas Innovadoras". En muy pocos días, el grupo comenzará a desarrollar el primer prototipo de Biodigestor, que producirá unos 4 metros cúbicos de gas por día, que podrá producir la energía



necesaria como para que una vivienda se autoabastezca diariamente. (Río Negro, 7/10/01).

### 2.2.3. Desarrollo de SGA ISO 14000/ SEG ISO 14001

Ante el crecimiento de los estándares de gestión ambiental adoptados en todo el mundo y el éxito de ISO 9000, en 1991 la organización Internacional de Normalización comenzó una investigación sobre la viabilidad de una serie de estándares de gestión ambiental.

En 1992, un comité técnico compuesto por 58 miembros daba forma a lo que hoy conocemos como ISO 14000, ya para 1996 el primer componente de la serie de estándares ISO 14000 salió a la luz pública.

El sistema de gestión ambiental (SGA) comprende la estructura organizacional, así como las responsabilidades, prácticas y procedimientos, y los recursos necesarios para implementar la gestión ambiental. Este sistema se circunscribe a la serie ISO 14001-14004, siendo aquí cuando nace la 14001 como norma de apoyo a la 14000, esta norma da un enfoque en la documentación de un sistema de gestión en eco gerencia (SEG ISO 14001), creando consigo la certificación y registro al Sistema de Gerencia (SGA/SEG) y por ende la marca ISO 14000/ ISO 14001.

### 2.2.4. Investigaciones anteriores en la Universidad Libre

En el 2003 un grupo de estudiantes de Ingeniería Mecánica propusieron desarrollar como proyecto el diseño de un Biodigestor para una empresa del área Industrial. Dicho proyecto quedo a mitad de camino por razones desconocidas.

### 2.2.5. Sistema Agrícola-Energético Integrado.

BIOTEC nació en Bélgica en 1984 de un grupo de ingenieros que trabajaban en la construcción de biodigestores para fincas en Bélgica.

El objetivo inicial de BIOTEC ha sido la adaptación de esta tecnología anaerobia a las condiciones particulares, y relativamente favorables, del Trópico.

En sus primeros años de labor en América Latina (1985-1989), BIOTEC utilizaba los biodigestores como herramientas de intensificación de fincas, transformando los estiércoles en fertilizante orgánico líquido que se distribuye a los cultivos, con fertilización líquida semanal o quincenal. El biogás era un subproducto del sistema. Se aplicó también a la industria del cultivo de flores, como sistema de disposición de los desechos de flor, y destrucción del hongo *Fusarium Oxysporium* (en los desechos de clavel).

Posteriormente BIOTEC construyó sistemas anaerobios para la agro-industria y las ciudades (tecnología UASB / filtro anaerobio / biodigestores-contacto / lagunas anaerobias cubiertas).

El biogás se utiliza para: Calderas (Ej.: CAME – 30 BHP), Motores dual-fuel (Ej.: PSE-220 kW), Motor de gas (Ej.: Palmeiras, 550 kW), Red de gas domiciliario (Ej.: Sololá, 60 familias), además de estufas, calentadores de agua, alumbrado de gas (Ej.: LIOFILIZADO) y teas.

A finales de los años 90, BIOTEC había construido unos 30 sistemas anaerobios de los cuales la tercera parte para fincas, la tercera parte para la agro-industria y la tercera parte para ciudades y urbanizaciones.

Originalidades del sistema BIOTEC

- tecnología apropiada para países tropicales
- bajos costos de inversión y de O&M

- valorización del biogás, del agua tratada y del lodo

Ejemplos:

- Digestores tipo Contacto: PALMAR SANTA ELENA, Tumaco, Colombia – Volumen 500 m<sup>3</sup> – Carga : 3.000 Kg. DQO/día
- Reactor tipo UASB : NABISCO, Palmira, Colombia Volumen 1.000 m<sup>3</sup> – Carga : 7 T DQO/día; COLOMBINA, La Paila, Colombia Volumen 1.500 m<sup>3</sup> – Carga 14 T DQO/día
- Lagunas anaerobias cubiertas, PALMEIRAS, Tumaco, Colombia Volumen 5.000 m<sup>3</sup> –Carga 12 T DQO/día

En algunos casos (extractoras de aceite de palma, destilerías, rellenos sanitarios, etc.), BIOTEC incorpora los proyectos nuevos en los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) promovidos por los Acuerdos de Kyoto y gestiona, con sus socios estratégicos, la venta de los Certificados de Captación de metano en el mercado internacional (« bonos de carbono »).

Para zonas no-interconectadas a la Red (cuenca de la Amazonía y Orinoquía por ejemplo) BIOTEC fomenta los sistemas « integrales » de cultivos intensivos de forrajes que son procesados en biodigestores y generan biogás para alimentar plantas eléctricas de gas muy robustas y de bajos costos de operación y mantenimiento. Además de generar electricidad renovable, sin dependencia alguna de los combustibles fósiles, este SISTEMA AGRICOLA-ENERGETICO INTEGRADO permite generar mucho empleo local para la producción y venta de forraje. La generación de ingresos locales en estos pueblos es una meta tan importante como la generación de electricidad.

Una planta de 500 Kw. que opera 12 horas al día requiere de una área de 100 hectáreas de cultivos « energéticos » de forrajes (pasto elefante, kudzu, etc. según las condiciones locales).

#### 2.2.6. Cultivo de Spirulina en Cali Colombia

Cultivo de Spirulina máxima para suplementación proteica al parecer, la dilución de partes iguales de vinaza y agua es la mejor, ya que no hubo diferencias significativas en el número de células a los 15 días, siendo menores a los 30 días las concentraciones de la spirulina con diluciones de 0.6 y 0.7 ( $P = 0.04$ )

Como puede verse el contenido de nutrientes de la vinaza es mayor que en el efluente pero el contenido de potasio es muy alto, por lo tanto es muy importante la asimilación de este elemento por parte de la cianobacteria para que no sea tóxico para consumo en animales y que a nivel industrial este desecho sea utilizable para otro fin.

Se revisaron las muestras para evaluar el contenido de microorganismos en los medios pero no se encontró ninguno, por lo tanto esto favorece el crecimiento de las células de la cianobacteria por no existir ningún tipo de competencia frente a los medios suplementados con efluente de Biodigestor donde la incidencia de microorganismos como *Chlorella* sp., *Paramecium* sp. y *Amoeba* sp. es mayor.

El PH osciló entre 7.40 y 9.04, lo que muestra que la Spirulina máxima puede resistir un PH extremo como lo hace la Spirulina subsalsa Oersted de Costa Rica (Hargaravez y Viquez 1982). Las temperaturas tomadas para estos cultivos mostraron máximos de 29°C y mínimos de 23°C en las noches y el promedio calculado fue de 24.6°C. No se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos respecto a la temperatura. Al parecer, el nivel de efluente de Biodigestor más recomendable para el cultivo de Spirulina máxima es una combinación de partes iguales de efluente y de agua (sin cloro) con 17 g de bicarbonato de sodio por cada litro de medio, teniendo en cuenta que el efluente tendría una concentración de sólidos de aproximadamente 2%.

## 2.3. MARCO CONCEPTUAL

**Anaerobias Estrictas.** El oxígeno les resulta tóxico ya que carecen de catalasa, peroxidasa y SOD, y por lo tanto, no pueden eliminar los productos nocivos resultantes del oxígeno. (Por ejemplo, las especies de *Clostridium*, y las arqueobacterias metanogénicas).

**Anaerobias Aerotolerantes.** (=aerodúricas) Al igual que las anteriores, presentan un metabolismo energético anaerobio, pero soportan el oxígeno debido a que poseen enzimas detoxificadores. Ejemplos típicos son las bacterias del ácido láctico, como *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Lactobacillus*). También se les llama anaerobios indiferentes.

**Anaerobios Facultativos.** Pueden realizar metabolismo energético aerobio o anaerobio, dependiendo del ambiente y la disponibilidad de aceptores finales de electrones. Ejemplos son las enterobacterias como *E. coli*.

**Bacterias Anaerobias.** Son aquellas que pueden crecer en ausencia de oxígeno, debido a que pueden usar aceptores finales distintos del oxígeno, o porque poseen metabolismo estrictamente fermentativo.

**Biodigestor.** Estructura Integrada creada de diferentes materiales ya sea polipropileno, ladrillos, hormigón y otros materiales capaces de resistir los aumentos de presión ocurridos en el sistema por el proceso de fermentación y biodegradación de material orgánico.

**Biogás.** Es un gas producto de la biodegradación de material orgánico en condiciones anaeróbicas.

**Calidad.** Es el grado en el que un conjunto de características inherentes que cumplen los requisitos. La calidad puede o debe utilizarse acompañado de adjetivos tales como Pobre, Buena, o Excelente.

Inherente significa que por su naturaleza está unido de forma inseparable a una cosa.

**Carga del digestor.** Esta indica el volumen de biomasa que se alimenta al plantas con cargas mayores pueden requerir control de temperatura y agitación mecánica.

**Contenido total de sólidos.** Usualmente expresado en porcentaje, indica la fracción del peso total de sólidos orgánicos en la mezcla acuosa.

**Costo.** Erogación de dinero que puede ser retroalimentado o recuperado mediante el proceso productivo.

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).** Es la medida del oxígeno requerido por las bacterias para la oxidación de la materia orgánica presente en las aguas.

**Desarrollo sustentable.** Puede definirse como el equilibrio existente entre el desarrollo económico, tecnológico y el desarrollo medioambiental, sin afectar a futuras generaciones

**Digestión anaerobia.** Es oxidación de la materia orgánica y transformación en gas y lodos, en ausencia de aire. Que se realiza en la naturaleza como parte de la cadena alimenticia de ciertos microorganismos (bacterias anaerobias). El gas resultante en este proceso se conoce como biogás. El proceso de digestión tiene lugar en un digestor sellado el cual crea las condiciones ideales para que las bacterias metanogénicas fermenten el material orgánico en condiciones libres de oxígeno. Durante este proceso el 30 a 60% de la materia orgánica es convertida en biogás.

**Digestión mesofílica.** Es la digestión anaerobia que se realiza a temperaturas entre 30° C y 35° C. La carga debe permanecer en el digestor 15 a 30 días. Este tipo de proceso tiende a ser más confiable y tolerante que el proceso termofílico, pero la producción de gas es menor y se requieren digestores de gran tamaño.

**Diseño y desarrollo.** Es el conjunto de procesos que transforma los requisitos en características especificadas o en la especificación de proceso.

**Efluente.** Subproducto de la digestión anaerobia el cual es una solución orgánica estabilizada que puede ser utilizada como fertilizante, para riego y piscicultura.

**Grado de digestión.** Este indica cuánto gas se obtiene en comparación con la producción potencial. La diferencia con el 100% indica qué cantidad de materia orgánica no ha sido procesada. En plantas de biogás sencillas, el grado de digestión alcanza alrededor del 50%. Esto significa que la mitad de residuos orgánicos queda sin aprovechar y salen como fertilizantes en el efluente.

**Gestión ambiental.** Se refiere a todos los aspectos de la función gerencial (incluyendo la planificación) que desarrollen, implementen y mantengan la política ambiental.

**ISO.** Es la Organización internacional de estandarización, es la agencia especializada en la estandarización de las actividades comerciales para facilitar el comercio internacional de bienes y servicios, y así poder fomentar la cooperación intelectual, científica y económica entre las naciones.

**Masa de agua.** Cantidad de agua necesaria para mezclar con la materia prima con el fin de obtener la carga diaria al digestor, en las condiciones de mezcla de 10 partes de agua por 1 de sólidos orgánicos.

**Materia prima.** Es la totalidad de residuos orgánicos que pueden recolectarse y que pueden ser utilizados para cargar el biodigestor. Esta guía utiliza los términos residuos orgánicos y materia prima para destacar la importancia de considerar este material como un recurso renovable (biomasa).

**Mejora continua.** Actividad recurrente para aumentar la capacidad para cumplir los requisitos.

**Niveles de amoníaco.** Concentración de iones  $\text{NH}_4$  en la mezcla acuosa utilizada para cargar el Biodigestor, este parámetro cobra importancia cuando se utilizan determinados materiales que contienen un alto porcentaje de nitrógeno<sub>1</sub> como es el caso del estiércol de aves, el cual acidifica la carga del Biodigestor e inhibe el proceso de gasificación.

**No-conformidad.** Incumplimiento de un requisito.

**PH. Concentración de iones hidrógeno.** ( $\text{H}^+$  o hidróxidos ( $\text{OH}^-$ )) que determinan la acidez o basicidad de una sustancia. El PH se mide de 0 a 14 siendo 7 una solución neutra, de 0 a menor de 7 ácida y mayor de 7 a 14 básica. La concentración de  $\text{CO}_2$  en la carga, la concentración de ácidos volátiles y la propia alcalinidad de la materia prima hacen variar el PH del Biodigestor.

**Política ambiental.** Por Política Ambiental se entiende al conjunto de directrices que debe adoptar una organización que busque la integración del proceso productivo con el medio Ambiente, sin perjuicio de ninguna de las partes.

**Potencial de producción de biogás.** Se refiere al volumen de gas teóricamente obtenible de una materia prima, en función de la producción específica y de la cantidad disponible de materia orgánica seca- Aunque el producido no puede juzgarse independientemente de otras variables del proceso.



**Producción específica de gas.** Es la cantidad de gas medido en  $m^3$  que se obtiene de un Biodigestor por unidad de masa orgánica seca alimentada al mismo. En la práctica ella indica la producción de gas que se obtiene de una determinada materia prima durante un tiempo de retención dado y a la temperatura de operación del digestor.

**Relación carbono nitrógeno.** Proporción entre el carbono y nitrógeno presentes en la mezcla de carga. La literatura reporta que la relación Carbono / nitrógeno está ligada directamente a la producción, entre mayor sea esta relación y su ajuste al intervalo recomendado (20 a 30 partes de carbono por una de nitrógeno) mayor será la producción de gas por unidad de materia útil.

**Sistema.** Un sistema es un conjunto de elementos interrelacionados entre si en busca de fin y objetivo común.

**Sistema de gestión ambiental.** Comprende la estructura organizacional, así como las responsabilidades, prácticas y procedimientos, y los recursos necesarios para implementar la gestión ambiental.

**Sólidos totales (ST)** Es el contenido de sólidos totales presentes en un estiércol, orín o material orgánico que se alimenta a un Biodigestor. Se expresa en porcentaje o peso de sólidos secos.

**Tiempo de retención (TR).** Es el lapso (en días) durante el cual la carga alimentada permanece en el digestor y es el tiempo necesario para la digestión del material orgánico a la temperatura de operación del digestor. El TR es inversamente proporcional a la temperatura.

### 3. ESTUDIO TÉCNICO

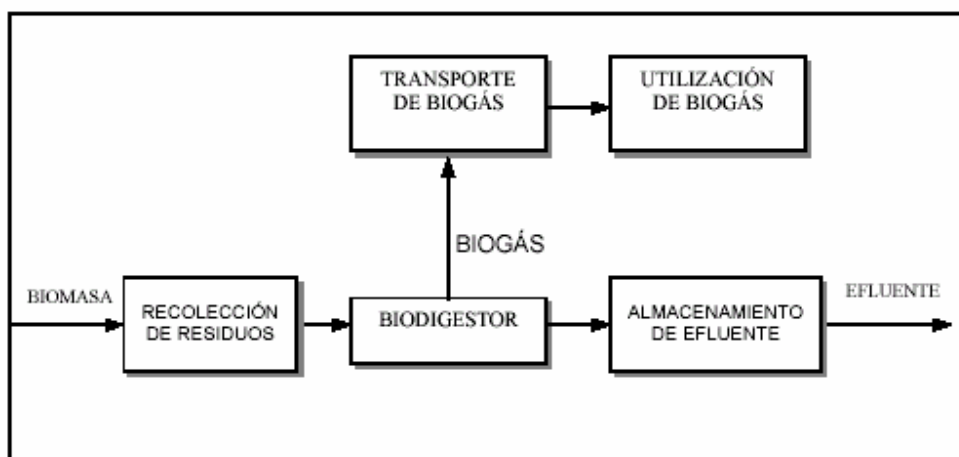
#### 3.1. DISEÑO DEL BIODIGESTOR

En este capítulo se presenta el diseño del Biodigestor que se plantea para ser implementado en un futuro. Con esta tecnología sería posible producir biogás y fertilizante líquido, mediante el tratamiento de desechos orgánicos, Mediante un proceso de digestión anaerobia del material producido en la misma Universidad, teniéndose un sistema autosuficiente.

##### 3.1.1 Generalidades del proceso.

En la figura 5. Se muestra el proceso productivo de biogás y fertilizante líquido, con todas sus Fases que se explica a continuación.

**Figura 5. Componentes de un Sistema de Biogás.**



Fuente: Marchaim U **Biogas processes for sustainable development.** FAO 1992

#### 3.1.1.1. Recolección de materia.

Inicialmente la carga (residuos orgánicos previamente recolectados y triturados) se adiciona al digestor por medio de un tanque de carga. La digestión anaerobia tiene lugar en el digestor (tanque sellado) el cual crea las condiciones ideales para que las bacterias fermenten el material orgánico en condiciones libres de oxígeno, para que de esta manera las bacterias se conviertan la materia orgánica en biogás. Durante este proceso entre el 30 y 60% de los residuos orgánicos se convierten en biogás.

El biogás producido es atrapado en la parte superior del digestor y es removido dejando una tubería por la cual sale el gas colectado. Se utiliza un medidor de gas para monitorear el flujo de gas. Algunas veces se necesita un lavador de gases para limpiar componentes corrosivos contenidos en el biogás como el ácido sulfhídrico. Ya que el espacio de almacenamiento de gas es limitado (Volumen bajo la cubierta), se utiliza un regulador de presión que controla el exceso de presión desde la cubierta. El biogás caliente se enfría a medida que viaja a través de la tubería y que el vapor de agua en el gas se condensa. Un drenaje remueve el condensado producido.

Cuando la producción de biogás es continua este puede ser almacenado en un tanque, donde se recomienda su recolección y/o combustión; el biogás se utiliza para generar calor o electricidad, o ambos.

Otro subproducto de este sistema es el efluente, el cual se puede almacenar para ser utilizado como agua para riego o fertilizante líquido.

Como se presenta en la Figura 5, un sistema de biogás se compone de los siguientes subsistemas;

- Sistema de recolección de residuos
- Digestor
- Sistema de almacenamiento del efluente
- Sistema de conducción de biogás

- Equipos o sistemas de utilización del biogás

- Origen y recolección de residuos<sup>1</sup>.

El origen del material orgánico (pasto y hojas secas) son las instalaciones de la Universidad, que deben utilizar sistemas de manejo de residuos para su recolección y almacenamiento por restricciones de tipo sanitario, ambiental, y operacional. Estos residuos pueden ser semisólidos o sólidos y deben ser acondicionados antes de iniciar el proceso de producción de biogás para lograr las mejores condiciones de la carga y permitir así el desarrollo y la acción de las bacterias. La preparación previa a que se someten los materiales depende de su naturaleza.

El tamaño de las instalaciones es un indicador primario de si la recuperación de biogás será económicamente factible. Las instalaciones grandes generalmente producen suficientes residuos, de manera continua, para mantener un proyecto de biogás. Dichas instalaciones tienen rendimientos de biogás predecibles y disponibles para utilizar como energía, en cualquier época.

La utilidad y costos de un Biodigestor se deben evaluar por la producción de biogás y los demás beneficios, tales como: el tratamiento de aguas, la disposición de desechos y la disponibilidad de agua para riego y fertilizante líquido.

---

<sup>1</sup>. Adaptado de: A Manual For Developing Biogas Systems at Commercial Farms in the United States, AgStar Handtool, First edition, EPA, US, Julio 1997. Chapter 2.

Es importante saber que las sustancias tóxicas presentes en las materias primas deben ser mínimas, y que ciertos materiales no deben ser cargados al digestor ya que dañan el proceso, estos incluyen:

Materiales tóxicos que inhiben la digestión (ej. amonio, residuos de pesticidas, metales pesados, aceites y grasas).

Los residuos deben estar libres de sólidos y otros materiales como arena, rocas y piedras. Algunos materiales sólidos como el aserrín o la paja muchas veces se mezclan con los residuos. La aglutinación de sólidos bloquea las tuberías del digestor y obstaculiza la operación. Solamente una pequeña cantidad de sólidos es tolerada por la mayoría de digestores y en muchos casos se debe eliminar o reducir la adición de sólidos a los digestores, mediante la construcción de un sedimentador antes del ingreso de la materia prima.

Otros materiales como residuos medicinales (Antibióticos), detergentes, ácidos o bases, sustancias con elementos halógenos, etc., pueden ser nocivos para la acción de las bacterias anaerobias, aunque estos materiales no han sido un problema en digestores a gran escala. No se han determinado límites para estos componentes, por lo que se debe evitar que este tipo de sustancias se añadan a los residuos conque se carga el digestor.

- Almacenamiento de los residuos.

La materia prima puede ser almacenada cerca al digestor o en otro sitio, aunque la necesidad de minimizar el transporte afectará la decisión de ubicar el punto de almacenamiento o el Biodigestor, ubicando el Biodigestor en un punto cercano al de carga se ahorra el tiempo de carga y probablemente los costos. Los residuos orgánicos necesitan instalaciones de almacenamiento apropiadas, las cuales deben planearse de acuerdo a las condiciones y regulaciones ambientales, de higiene y seguridad.

El almacenamiento de la carga orgánica triturada se llevara a cabo en un tanque de concreto y ladrillo, permitiendo que este sea hermético, este tanque tendrá en su parte inferior una válvula conectada a la tubería de acceso al Biodigestor, permitiendo que la carga sea controlada desde el exterior del Reactor. Disminuyendo además el escape de olores y de gases contaminantes para la atmósfera, repercutiendo en gasto de tratamiento.

Se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- a) Recolectar residuos en un solo punto hace más fácil cargar el digestor. En este punto, los residuos pueden ser mezclados con agua y homogenizados antes de que entren al digestor.
- b) Si la instalación no tiene un punto en común de recolección, se debe evaluar la posibilidad de unir los puntos de producción o de recolección.
  - Cantidad de residuos.

El principal propósito del manejo y control de la carga al digestor es maximizar la calidad y cantidad de los productos, y por lo tanto de los beneficios ambientales y económicos de esta. Dependiendo del producto que se desee obtener se afectará el criterio de calidad de la materia prima.

- a) Cualquiera que sea el producto que se necesite, biogás o efluente, los otros serán afectados. Se debe realizar un balance ya que el sistema podrá ser viable solamente si se aprovechan todos los productos del Biodigestor.
- b) Aunque existen muchos factores que influyen en la producción de biogás a partir de residuos orgánicos, la cantidad y calidad de los residuos recolectados determina la cantidad de biogás a ser producido. La cantidad de residuos

producidos en las instalaciones está directamente relacionada al número de árboles y zonas verdes que en ellas se encuentren, sin embargo, se tiene una mayor producción de biogás, si los residuos son frescos y se alimentan al Biodigestor Con regularidad con una cantidad mínima de contaminantes. De acuerdo a esto, la cantidad de árboles y zonas verdes, que existan en una instalación constituye el indicador de la potencial producción de biogás. La proporción de residuos recolectados se utiliza para indicar qué otros detalles técnicos deben tenerse en cuenta.

- c) Además del número mínimo de árboles (8 ó 9) productores de residuos las instalaciones deben mantener esta población relativamente constante en el año, lo cual asegurará que una cantidad consistente de materia orgánica este disponible, de lo contrario, las bacterias morirán de inanición. La cantidad de residuos recolectados es crítica para el funcionamiento del digestor. Si la cantidad de residuos producidos diariamente es mayor que la capacidad de diseño se reducirá el tiempo de retención disminuyendo la producción de biogás y si es menor la población bacteriana disminuirá por la Falta de alimento.
- d) Para maximizar la producción de biogás, los factores clave serán el contenido de material orgánico y el contenido total de sólidos de la mezcla de carga. El contenido total de sólidos depende del tipo de árbol que produce el residuo y de la estrategia de manejo de residuos. La frecuencia del corte y el régimen de mantenimiento determinan el porcentaje de sólidos orgánicos. Adicionar agua fresca, agua residual o inyectar agua reciclada disminuye el contenido total de sólidos, de los residuos recolectados, hasta valores inferiores al 10%, que es lo deseable.
- e) Las instalaciones que recolectan residuos semisólidos son las mejores candidatas para proyectos de producción de biogás.

- Calidad de residuos.

La calidad de la materia prima en términos del rendimiento del gas dependerá en parte de su frescura. Entre más fresca sea, el rendimiento del gas será mayor y tendrá menor peligro de acidificarse.

Las materias primas ácidas o básicas pueden inhibir o incluso dañar las bacterias en el digestor.

Si bien la digestión anaerobia es un proceso complejo y largo, el cual puede ajustarse a pequeños cambios, los cambios drásticos de materia prima deben evitarse y se debe tener cuidado en realizar la mezcla con las cantidades de agua recomendadas.

El carbono y nitrógeno presentes en la mezcla de carga debe estar entre 20 y 30; es decir 20 a 30 partes de carbono por una de nitrógeno.

El material orgánico debe almacenarse inmediatamente se termine su recolección, dentro del tanque de carga permitiendo que se mantenga fresco a la hora de ser utilizado y mezclado con la parte líquida y ser vertida en el reactor.

- Pretratamiento de los residuos

Las diferentes clases de materia prima requerirán de tratamiento diferentes, dependiendo de la consistencia de dicha materia prima (que tan sólida o líquida es). Ejemplos de pretratamiento incluyen:

Acondicionar los residuos vegetales tales como pasto, hojas, mediante un proceso de corte o picado fino, molienda, de manera que la carga del material orgánico sea más fácil, ya que se evita que dicho material se atasque en la



tubería de acceso.

Adición de agua hasta lograr una relación de 10 partes de agua por una parte de sólidos presentes en los residuos o en la mezcla de carga.

Separación de sólidos inertes y materiales extraños, como ladrillo, arena, gravas, troncos, etc.

Por último se realiza la Mezcla y homogenización de residuos.

- Relación carbono nitrógeno C/N

Si la relación C/N es alta, el nitrógeno será consumido rápidamente por las bacterias metanogénicas para formar proteínas y no reaccionará con el material restante, por tanto la producción de gas será alta. De otra parte, si dicha relación es muy baja, es decir, donde el nitrógeno sea abundante, el nitrógeno será liberado y acumulado en forma de amoníaco, el cual incrementará el PH de la carga en el digestor. Un PH mayor que 8.5 comenzará a mostrar efectos tóxicos en la población de bacterias metanogénicas. Los materiales con una relación C/N alta pueden mezclarse con aquellos de baja relación C/N para dar la relación promedio deseada a la carga, que es de 20 a 30 partes de carbono por una de nitrógeno.

#### 3.1.1.2. Características del biodigestor.

El digestor es el componente del sistema de biogás que optimiza naturalmente el crecimiento y proliferación de un grupo de bacterias anaerobias que descomponen y tratan los residuos dejando como subproducto gas combustible y un efluente líquido rico en nutrientes y materia orgánica estabilizada.

Basados en limitaciones externas como inversión, eficiencia del tratamiento, rendimiento de la energía neta y rendimiento de las operaciones, el rango de las tecnologías disponibles varía desde los sistemas muy rudimentarios hasta los más

sofisticados, teniéndose en cuenta factores como la vida útil, las ventajas y desventajas del diseño (Tabla 2) . La elección de cual Digestor utilizar, esta condicionada inicialmente por la temperatura y las características del sistema de manejo de residuos existente o que se planee instalar el cual determina el método de carga del digestor.

Tabla 2 - Resumen de características de algunos tipos de biodigestores<sup>2</sup>

Características	De estructura sólida fija	De estructura sólida móvil	De balón de plástico
Cámara de digestión	Esférica / bajo tierra	Esférica/Semiesférica	Semiesférica
Nivel de tecnología	Madura	Madura	Madura
Presión del gas	No constante	Constante	Muy baja presión de gas, es necesario aumentar la presión con sobrepeso
Localización óptima	Todos los climas	Todos los climas	Todos los climas
Vida útil	20 años	20 años	5 años
Ventajas*	Bajos costos de construcción. No posee partes móviles No posee partes metálicas que puedan oxidarse No tiene partes expuestas, por eso está protegido contra bajas temperaturas	Manejo fácil El gas almacenado es visible a través del nivel de la campana	Bajos costos de construcción Fácil transporte e instalación Construcción horizontal y plana que favorece en los lugares con alto nivel freático
Desventajas*	La presión puede ser muy alta, por eso la cúpula tiene que ser cuidadosamente sellada; porosidades y grietas pueden afectar la planta.	Alto costo de construcción de la campana En la mayoría de los casos, la campana es metálica y por eso sujeta a corrosión. Más costos de mantenimiento causado por trabajo de pintura.	El material plástico está sujeto a daños y tiene que ser protegido.

#### ▪ Temperatura.

La temperatura es uno de los principales factores que afectan el crecimiento de las bacterias responsables de la producción de biogás. La producción de biogás puede ocurrir en cualquier sitio que se encuentre en el rango de temperatura de 4°

C a 68 ° C. A medida que la temperatura aumenta, la tasa de producción de gas también se incrementa, y por ende disminuye el tiempo de retención de la materia

<sup>2</sup>. Difusión de la tecnología del biogás en Colombia, GTZ 1987

Orgánica dentro del digestor. En algunos casos se hace necesario implementar un sistema de calor suplementario para mejorar el rendimiento del proceso.

Al construir el Biodigestor bajo el nivel del suelo, se garantiza que la temperatura del Biodigestor se mantenga por encima de los 12 ° C, permitiéndose el crecimiento de la familia bacteriana y con ella la producción de Biogás.

- Método de carga

El no cargar un digestor por una semana puede conducir a una pérdida en la producción de biogás. Más importante aún es que el cargar el digestor en intervalos irregulares puede interrumpir el proceso biológico y causar que el sistema trabaje ineficientemente o hasta detenerlo completamente. Por lo tanto, el Biodigestor debe ser cargado Semanalmente o en lo posible diariamente. Con cargas continuas y descargas de material del sistema, las bacterias trabajan eficientemente y se procesan grandes cantidades de residuos.

La recolección diaria de residuos es también eficiente en términos de conservar los valores de nutrientes del residuo y preservar su potencial de producción de gas. Cualquier descomposición de material orgánico fuera del digestor reducirá la producción de biogás, por lo tanto, es mejor cargar residuos frescos al digestor.

- Tiempo de retención

Esta variable depende de la temperatura ambiente y junto con la carga del digestor determinan las dimensiones del sistema. La Figura 6 presenta el tiempo de retención en días en función de la temperatura ambiente. Es importante resaltar que no existe un criterio unificado para obtener el tiempo de retención, por tanto fue necesario realizar un ejercicio de simulación de la variación del tiempo de retención, con los datos de temperatura reportados por varias fuentes.

La distribución de estos datos genera una curva cuya tendencia logarítmica permite obtener el valor aproximado de los días de retención necesarios para que el proceso sea completo en un Biodigestor para una temperatura establecida.

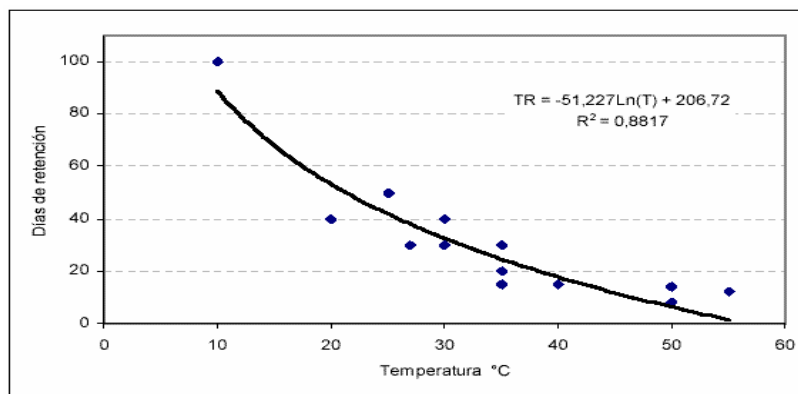
Nótese que el coeficiente de correlación entre la temperatura y el tiempo de retención es de 0.88, el cual aunque no es el óptimo, permite obtener tiempos de retención con mayor precisión que con los datos que reporta la literatura de manera independiente en la Tabla3.

**Tabla 3 - Tiempo de retención en días reportado por varias fuentes**

Temperatura °C	BRITISH BIOGEN	EPA	GTZ	IIT	CIPAV	CONICIT
5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10	ND	ND	100	ND	ND	ND
15	ND	ND	ND	ND	ND	ND
20	ND	ND	40	ND	ND	ND
25	ND	ND	ND	ND	50	ND
25	ND	ND	ND	30	ND	ND
30	30	ND	ND	ND	40	30
35	15	20	20	ND	30	20
40	ND	15	ND	ND	ND	ND
45	ND	ND	ND	ND	ND	ND
50	14	ND	8	ND	ND	ND
55	12	ND	ND	ND	ND	ND
60	ND	ND	ND	ND	ND	ND

**Fuente:** Guía de Implementación de Sistemas de Biogás

**Figura 6. Tiempo de retención en función de la temperatura.**



**Fuente: AENE Consultoría S.A. febrero 2003**

#### ▪ PH

Dentro del Biodigestor se deben manejar unos rangos específicos para garantizar que la producción de Biogás sea la óptima, dicho rango de PH óptimo<sup>2</sup> es de 6.6 a 7.6. Los ácidos grasos volátiles (AGV) y el acetato tienden a disminuir el PH del sustrato<sup>3</sup>. Si las bacterias metanogénicas no alcanzan a convertir rápidamente los AGV a medida que lo producen las bacterias acetogénicas, estos se acumulan y disminuyen el pH en el digestor. Sin embargo, el equilibrio CO<sub>2</sub> – bicarbonato opone resistencia al cambio de pH.

Existen Dos métodos prácticos para corregir los bajos niveles de pH en el digestor. El primero es parar la alimentación del digestor y dejar que las bacterias metanogénicas asimilen los AGV; de esta forma aumentará el hasta un nivel aceptable. Deteniendo la alimentación disminuye la actividad de las bacterias fermentativas y se reduce la producción de los AGV. Una vez que se haya restablecido el pH se puede continuar la alimentación del digestor pero en pocas cantidades, después ir aumentando gradualmente para evitar nuevos descensos.

<sup>2</sup>. Yougluet al 1989

<sup>3</sup>. marchaim 1992.

El segundo método consiste en adicionar sustancias buffer para aumentar el pH, como el agua con cal. Las cenizas de soda (carbonato de sodio) constituyen una variante más costosa, pero previenen la precipitación del carbonato de calcio. Los requerimientos de buffer varían según el residual, los sistemas de operación y tipos de operación. Las normas para calcular estos requerimientos han sido desarrolladas por Pohland y Suidon (1987).

El pH de la materia prima indica si el proceso de digestión se lleva a cabo en condiciones adecuadas. Las bacterias responsables del mecanismo de producción de biogás son altamente sensibles a cambios en el pH, lo que hace necesario que este se controle.

#### 3.1.1.3 Producción y conducción de biogás<sup>4</sup>

El sistema de conducción de gas remueve el biogás desde el digestor y lo transporta hacia su uso final. Este sistema puede incluir: tubería, bomba de gas o turbina, medidor de gas, regulador de presión y evacuadores del condensado, en caso de ser requeridos. Las dimensiones de una línea de conducción para una instalación típica, dependen de lo siguiente:

- Del flujo de gas que se desea transportar
- De la distancia existente entre la planta y el lugar de uso.

Estas dos variables se utilizan para fijar el diámetro de tubería adecuada a los deseos del consumidor y a las características del diseño- Las plantas de Biogás utilizan casi siempre manguera o tubería de polietileno, PVC, debido a que estos materiales no son afectados por la acción del ácido sulfhídrico.

---

<sup>4</sup>. Instituto de investigaciones tecnológicas; PLANTAS DE BIOGÁS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN; Bogotá; 1990

La línea de conducción de gas irá preferiblemente enterrada o recubierta para evitar el deterioro (cristalización) por la luz solar. De lo contrario, se colocará elevada para evitar daños físicos causados por personas o animales.

La norma NTC 1746 especifica los materiales aceptados para el transporte de gas. Una línea de biogás debe ir provista de los siguientes accesorios, cuya localización e instalación se pueden ver en la Figura 7 y Figura 8, estas figuras dan una idea aproximada de los accesorios requeridos para realizar estas operaciones y de su colocación en la línea.

a) Válvulas: se utilizan mínimo dos válvulas para gas (Figura 7). La primera principal irá instalada inmediatamente después del almacenamiento del biogás, al comienzo de la conducción y sobre el niple de salida. La segunda se monta al final de la línea, en el lugar de uso. Estas válvulas, cuyo tamaño debe ser compatible con el diámetro de la tubería, deberán estar construidas en acero inoxidable, polietileno o PVC para evitar la corrosión por el ácido sulfhídrico.

b) Trampas de ácido sulfhídrico. Están constituidas por un recipiente relleno con material de hierro finamente dividido formando un lecho poroso a través del cual debe circular el gas, para que el  $H_2S$  reaccione con el metal y se deposite en el lecho. La condición de porosidad se alcanza utilizando como relleno virutas de hierro o esponjillas metálicas de cocina. Estos materiales tienen la ventaja de ser de bajo costo y de oponer poca resistencia al flujo de gas, aspecto importante en razón de las bajas presiones que se manejan en este tipo de sistemas. La forma del recipiente y las características del material utilizado para su construcción dependen del gusto del propietario de la planta. El único requisito es el de que sean completamente herméticos para evitar fugas de gas. En el biogás se encuentran cantidades variables de sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), también denominado ácido sulfhídrico. El  $H_2S$  al reaccionar con agua se convierte en ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) el cual es altamente corrosivo y puede ocasionar graves daños

en el motor. Con el fin de eliminar o disminuir el porcentaje de  $H_2S$  en el biogás se emplean sistemas de filtro con sustancias como cal viva o pagada, limadura de hierro o ciertos tipos de tierras conocidas como hematites parda o limonita, las cuales son ricas en sustancias ferrosas.<sup>5</sup>

En nuestro caso se instalara el filtro en la línea de conducción Biodigestor-reservorio, a 4 metros de la entrada a este último. Como sistema de filtro se utilizara un tubo de PVC de 4 pulgadas de diámetro el cual se rellenara en 2/3 partes con limadura de hierro y el tercio restante con esponjilla de hierro (Bonbril MR) utilizada para la limpieza doméstica de utensilios de cocina.

El biogás ingresa por la parte inferior del filtro y lo abandona por su parte superior. El  $H_2S$  es atrapado por el material ferroso formándose sulfuro de hierro, evitándose la corrosión y el daño del motor encargado de entregar energía.

c) Trampas de llama: La trampa de ácido sulfhídrico actúa también como trampa de llama no solo por la presencia del relleno sino por el mayor diámetro del recipiente con relación a la línea de conducción.

d) Trampas de agua. El agua arrastrada por el gas se separa cuando la corriente encuentra en su trayectoria una expansión brusca y una contracción posterior. Para lograr este propósito será suficiente instalar sobre la línea un accesorio idéntico a las trampas de sulfhídrico, con la diferencia de que no se necesitará el relleno de material de hierro. Las trampas están provistas de un grifo de purga por donde se debe evacuar periódicamente el agua depositada en el fondo. El gas se separa cuando la corriente brusca y una contracción posterior. Instalar sobre la línea un accesorio diferencia de que no se necesitará el están provistas de un grifo de purga el agua depositada en el fondo.

---

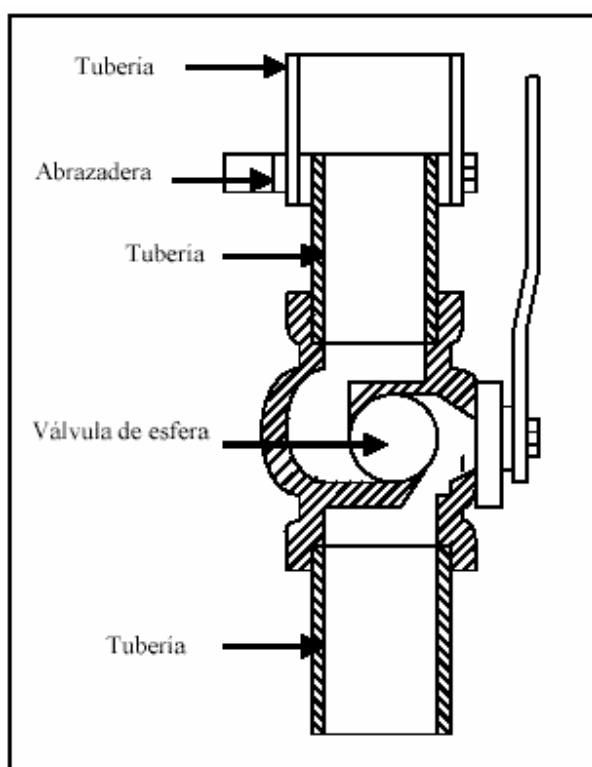
<sup>5</sup>. Adaptado de: Muche y Zimmermann 1985.



Es posible encontrar varios tipos de trampas y materiales de construcción, entre ellas:

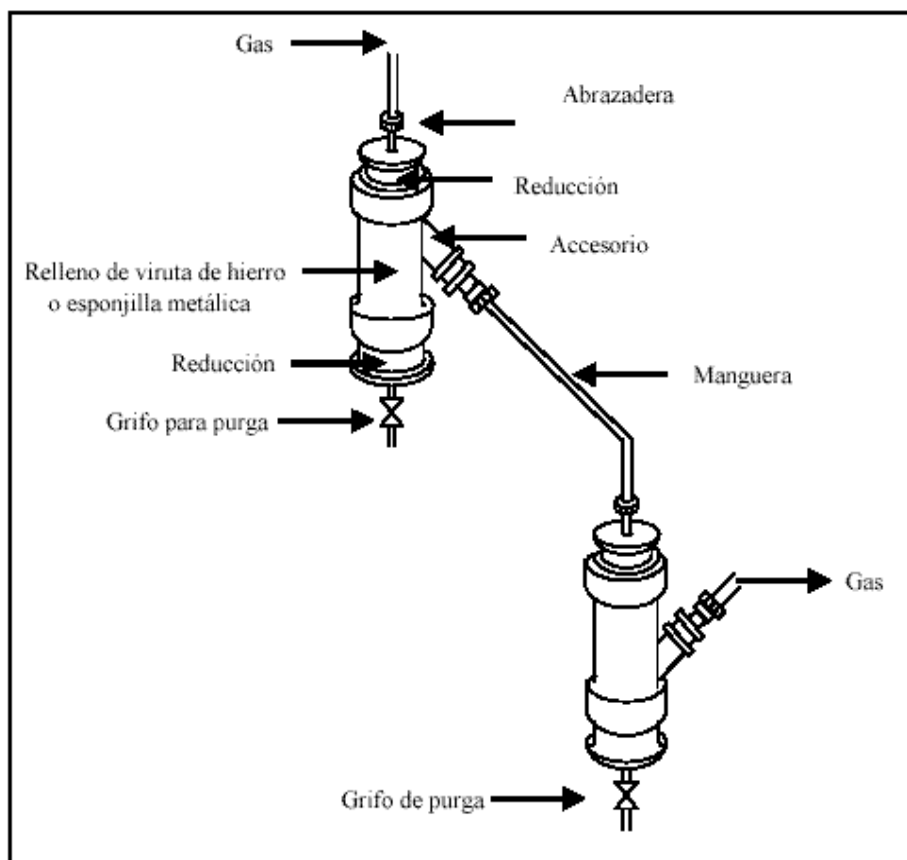
- Rectangulares construidas en hierro o en acero, pintadas con el mismo material empleado en el terminado y protección de la campana.
- Cilíndricas, en acero. Estas se construyen a partir de secciones de tubería estándar de 2 o más. Al igual que las anteriores, requieren de pintura interior y exterior para protegerlas de la corrosión.
- Cilíndricas en PVC, polietileno o caucho. Se construyen también a partir de tuberías estándar o se arman utilizando los accesorios disponibles en el mercado. No requieren pintura protectora pero deben en lo posible no exponerse a los rayos del sol.

**Figura 7. Válvulas para gas.**



**Fuente: Guía de Implementación de Sistemas de Biogás**

**Figura 8. Accesorios para la purificación de gas.**



**Fuente: Guía de Implementación de Sistemas de Biogás**

#### 3.1.1.4. Utilización del biogás<sup>6</sup>.

El propósito de esta sección es determinar cómo se utilizará el biogás en la Universidad. Se presentan algunos factores importantes a ser considerados para determinar una opción de utilización de biogás y se describen las opciones potenciales de uso del gas.

<sup>6</sup>. Adaptado de: A Manual For Developing Biogas Systems at Commercial Farms in the United States, AgStar Handbook, First edition, EPA, US, Julio 1997.

Existen algunos factores importantes que se consideran cuando se selecciona una opción de utilización del biogás:

a) Clase de energía utilizada. Cuando se utiliza electricidad, gas natural, propano o diesel como energía, el biogás puede utilizarse para reemplazar la compra de energía, para producir electricidad, calor o refrigeración, el mayor beneficio de la opción de uso del biogás será como combustible en motores de generación eléctrica para uso en la propia Universidad. Otras opciones incluyen utilizar biogás como combustible para hornos de aire forzado, calentadores y refrigeradores de adsorción, y demás maquinas que puedan existir en los laboratorios de la universidad. Siendo el Biogás un elemento sustituto de la energía y combustible. De esta forma se vería disminuido el consumo de energía en el área de los laboratorios (laboratorios de mecánica y laboratorios nuevos).

b) La electricidad como energía primaria requerida. Las bombas eléctricas, ventiladores, motores, compresores al igual que iluminación están en uso generalmente todo el año. La producción de electricidad para utilización en la Universidad es la opción más viable.

c) Mantenimiento de los motores de generación. El fácil acceso para las labores de mantenimiento y disponibilidad de partes y servicios son consideraciones críticas.

- Generación de electricidad

El biogás puede ser utilizado como combustible para motores diesel y a gasolina, a partir de los cuales se puede producir energía eléctrica por medio de un generador. En el caso de los motores diesel, el biogás puede reemplazar hasta el 80% del acpm (la baja capacidad de ignición del biogás no permite reemplazar la

totalidad del ACPM en este tipo de motores que carecen de bujía para la combustión). Aunque en los motores a gasolina el biogás puede reemplazar la totalidad de la misma, en general en los proyectos a nivel agropecuario se le ha dado preferencia a los motores diesel considerando que se trata de un motor más resistente y que se encuentra con mayor frecuencia en el medio rural.

#### Motores – generadores<sup>7</sup>.

A partir del reservorio, el biogás es conducido por una tubería hacia los motores, para lo cual se deben hacer ajustes necesarios para que el biogás ingrese al interior del filtro de aire, de tal manera que el motor al aspirar el aire que requiere para la combustión del acpm, aspira una mezcla de biogás-aire.

Los trabajos se pueden llevar a cabo utilizando cualquiera de estos 2 motores diesel:

- Blackstone, 3 pistones, 100 kW de potencia (135 HP), 600 r.p.m., acoplado a generador eléctrico de 92 kW.
- Perkins, 6 pistones, 74 kW de potencia (100 HP), 1800 r.p.m., acoplado a generador eléctrico de 63 kW.

Se debe tener en cuenta que se tiene que instalar el filtro en la línea de conducción Biodigestor-reservorio, para que cuando sea liberado por la válvula este llegue tratado y purificado al filtro de aire del motor, evitándose que este se corrosione por la acción del sulfuro de hidrógeno.

Los resultados obtenidos hasta el momento indican un nivel de sustitución del acpm de 47% para el motor Blackstone y de 67% para el motor Perkins (en otras palabras, el consumo de acpm en el sistema biogás-acpm es de 53% y 33% para los motores Blackstone y Perkins respectivamente, al compararse con el sistema solo-ACPM.

---

<sup>7</sup>. Utilización del biogás para la generación de electricidad. Alvaro Zapata Cavidad, Fundación CIPAV

**Tabla 4. Consumo Biogás**

Consumo de acpm litros/ Kwh.			
Motor Perkins		Motor Blackstone	
Solo acpm	Biogás-acpm	Solo acpm	Biogás-acpm
0.285	0.094	0.380	0.200

Fuente: Granja Pozo Verde, Febrero de 1998

Los resultados permiten apreciar que el consumo de ACPM/kWh por parte del motor Blackstone es mucho mayor que el del Perkins. Dos factores pueden explicar este resultado:

1. El motor Perkins se evaluó en un rango de generación entre 36 y 46 Kw. (70 por ciento de su potencia nominal). El motor Blackstone entre 36 y 43 Kw. (45 por ciento de su potencia nominal). En un motor que trabaja a media carga o menos (como sucedió en el caso del Blackstone), el consumo de acpm/kWh es mayor.
2. El motor Blackstone es un motor mucho más antiguo (aproximadamente 1936; Perkins 1980) y de un volumen mucho mayor. Los motores antiguos presentan eficiencias inferiores a la de los modelos más modernos.

- Combustión directa

El biogás recuperado puede ser usado directamente como combustible. Los laboratorios utilizan solamente una cantidad limitada de estos combustibles comparados con la electricidad.

Calentamiento. El calentamiento es usualmente una operación temporal. Las calderas y hornos pueden ser operados con biogás para producir calor. Por lo tanto este puede ser un uso eficiente del gas, que por lo general no es tan

conveniente como la electricidad. Sin embargo, en algunas situaciones esta puede ser la mejor opción.

Calderas. Las eficiencias en la conversión están típicamente entre 75 a 85%. Una caldera de fundición a gas natural se utiliza para muchas aplicaciones. El aire y el combustible mezclados requerirán de ajustes y quemadores que deberán ser alargados para un gas con bajo BTU. Estas calderas están disponibles en un amplio rango de tamaños, desde 45~000 BTU/hora y más. El biogás no tratado puede quemarse en estas calderas.

Y en general se le puede dar muchos usos dentro de las instalaciones de la universidad y específicamente en los laboratorios.

- Utilización y almacenamiento de efluente

El efluente que permanece luego que el gas se haya producido se debe bombear a un tanque de almacenamiento, luego de lo cual puede ser distribuido directamente al suelo. Sin embargo, este producto se considera parcialmente tratado en esta etapa, y para almacenarlo se requieren instalaciones de almacenamiento, ya que los nutrientes presentes en el efluente deben ser aplicados al suelo o a los sembrados en épocas determinadas. El tamaño de la instalación y del período de almacenamiento debe ser adecuado para los requerimientos de la Universidad.

Como alternativa el efluente puede separarse en fibra y líquido. La fibra se puede utilizar para tratamiento de suelos o para compostaje. El líquido contiene un rango

de nutrientes y se puede utilizar como un fertilizante el cual se puede vender o utilizar directamente en las instalaciones de la Universidad, específicamente en sus zonas verdes, como parte del plan de manejo de nutrientes para los sembrados que se tienen.

## **4. METODOS Y PROCEDIMIENTOS**

### **4.1 EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN ACTUAL DEL MATERIAL ORGANICO.**

La información sobre la Producción y utilización actual del material orgánico fue suministrada por la administración de la Universidad Libre Sede Bosque Popular y por las personas encargadas del mantenimiento de las instalaciones de la Universidad, específicamente de las zonas verdes, para nuestro estudio; los encargados del corte y recolección del material orgánico ( pasto y Hojas secas).

La recolección de datos se llevo a cabo teniendo en cuenta la fuente de producción de la materia orgánica, tal como la superficie de zonas verdes y la población de árboles dentro de los predios de la Universidad.

La Evaluación de las condiciones actuales se efectuó, mediante el análisis de la producción de material orgánico Vs. Tiempo de corte y recolección, y su respectivo uso (recolección por parte de ATESA).

### **4.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DE LA UTILIZACIÓN DEL BIODIGESTOR**

Luego de la evaluación se identifico la necesidad de implementar una alternativa para el manejo de los residuos orgánicos, la cuál permita el aprovechamiento de los recursos naturales disponibles en la universidad, el aporte como base y complemento de estudio en la Facultad de Ingeniería de la Universidad.



## 4.3 DETERMINACIÓN DEL DISEÑO

### 4.3.1 Condiciones de diseño.

Esta sección presenta algunas condiciones que deben tenerse en cuenta para la selección preliminar de un sistema de producción de biogás.

#### 4.3.1.1 Requerimientos.

Los principales requerimientos para un buen diseño de estos sistemas incluyen<sup>1</sup>:

- a) El diseño debe ser simple tanto para la construcción como para la operación y mantenimiento.
- b) Materiales. Se deben utilizar materiales que estén disponibles localmente. Se debe emplear un tipo de material resistente a la corrosión, con propiedades de aislamiento efectivas.
- c) Duración. La construcción de una planta de biogás requiere cierto grado de práctica. Una planta de corta vida podría ser económicamente rentable pero puede no ser reconstruida una vez su vida útil termine. Sería necesario construir plantas más durables, pero esto puede aumentar los costos en la inversión inicial.
- d) Se deben implementar dispositivos de seguridad.
- e) Utilizar el mínimo de equipo mecánico y eléctrico.

---

<sup>1</sup>. Adaptado de BritishBiogen, Anaerobic Digestion of farm and food processing residues, Good Practice Guidelines, pag 30 –31

- f) Implementar control ambiental en la disposición y uso del efluente.
- g) Un sistema de producción de biogás ideal debe ser de bajo costo tanto como sea posible (en términos del costo de producción por unidad de volumen de biogás).

Particularmente y dependiendo de la escala del sistema para el diseño se tendrá en cuenta:

- a) Recepción apropiada de residuos e instalaciones de carga.
- b) Digestor, tanque de carga, dispositivos de mezcla, almacenamiento de biogás, tanque de descarga.
- c) Equipo de transporte que puede incluir tubería, válvulas.
- d) Utilización del biogás: Equipos de combustión y/o de generación eléctrica

#### 4.3.2 Selección de diseño

- Biodigestor. Para la selección del diseño se tuvo en cuenta Características como Vida útil, Costo del diseño, Ventajas y Desventajas (ver Tabla 3, Cáp. 3) y otras características del sistema tales como temperatura, Ph, Método de Carga, Tiempo de retención, Para lo cuál se determino que el diseño idóneo para dichas condiciones era el Biodigestor de Cúpula fija.

- Conducción del Biogás. Para las condiciones de temperatura y costos se determinó que las tuberías de PVC eran las óptimas, ya que no son sometidas a problemas de Corrosión. Las válvulas seleccionadas fueron las reductoras de presión
- Motor. Para la selección del motor de combustión interna, se tuvo en cuenta la disponibilidad de los motores encontrados en las instalaciones de la Universidad, por lo tanto se escogió el motor Toyota Hilux cuyas características son similares a las del motor Perkins.
- Trituradora: este equipo fue seleccionado de acuerdo al tipo de material a ser triturado, en este caso material orgánico como: hojas secas y pastos. Se buscó un modelo práctico y cómodo de acuerdo a las necesidades del biodigestor y de los operarios.

#### **4.4 DETERMINACION DE FORMULAS**

Las formulas se determinaron teniendo en cuenta la Guía de Implementación de Sistemas de Biogás de la UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, las cuales se adaptaron de acuerdo al material de alimentación del biodigestor.

## 5. MEMORIA DE CALCULOS

Para el diseño del Biodigestor se hizo necesario trabajar con información proporcionada por instituciones como la UPME.

### 5.1. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE RESIDUOS ORGÁNICOS

**Tabla 5. Valores y características de algunos desechos vegetales**

Material fresco	%EST Sólidos totales	%SO Sólidos orgánicos	P - Producción de biogas (m <sup>3</sup> de gas / 1 kg SO)
Paja de arroz	89	93	0.220
Paja de trigo	82	94	0.250
Paja de maíz	80	91	0.410
Hierba fresca	24	89	0.410
Jacinto de agua	7	75	0.325
Bagazo	65	78	0.160
Desechos de verdura	12	86	0.350
Desechos orgánicos de cocina	15	10	0.250

**Fuente: Difusión de la tecnología del biogás en Colombia, GTZ, 1987**

#### 5.1.1. Hojas<sup>1</sup>.

$$H = NA \times PH$$

H = Hojas

NA = Numero de árboles

PH = Promedio de Producción de Hojas caídas por árbol por día

<sup>1</sup>. Formulación adaptada de: **UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME**  
**Guía de Implementación de Sistemas de Biogás Fecha: 20/03/03**

$$H = 36 \times 1.14 \text{ Kg. Hojas /día}$$

$$H = 41.04 \text{ Kg. Hojas/día}$$

#### 5.1.2. Pasto.

$$P = E \times \frac{PPC}{100}$$

P = Pasto

E = Extensión zonas Verdes en m<sup>2</sup>

PPC = Porcentaje de Producción de Pasto en zonas verdes Kg /día

$$P = 123.539,10 \text{ m}^2 \times \frac{0.85}{100} \text{ Kg. /mes}$$

$$P = 1050.08 \text{ Kg. m}^2 / \text{mes} = 35 \text{ Kg. m}^2 / \text{día}$$

#### 5.1.3. Materia prima para carga.

$$MPC = H + P$$

MPC = Materia Prima para carga en Kg. / semana

H = Hojas Kg. Hojas/semana

P = Pasto Kg. m<sup>2</sup> / semana

$$MPC = 41.04 + 35$$

$$MPC = 76,04 \text{ Kg. carga / semana}$$

#### 5.1.4. Sólidos totales.

$$ST = \frac{MPC}{100}$$

ST = Sólidos Totales

MPC = Materia Prima para Carga

$$ST = \frac{76.04}{100}$$

$$ST = 0.7604 = 76\%$$

#### 5.1.5. Masa de agua para mezcla (MH<sub>2</sub>O)

La proporción en masa de agua por Kg. Es de 10 a 1, es decir, que por cada Kg. de materia prima para carga se adicionan 10 litros de agua.

$$MH_2O = 76.04 \times 10 \text{ Litro/ Kg.}$$

$$MH_2O = 76.04. \times 10 \text{ Litro / Kg.}$$

$$MH_2O = 760.4 \text{ Litros}$$

#### 5.1.6. Carga.

$$C = MPC + MH_2O$$

donde,

C = carga diaria para alimentar el digestor en kilogramos por semana o litros por semana (sea asume que un litro pesa un kilogramo).

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por semana

MH<sub>2</sub>O = Masa de agua para mezcla que disminuye hasta un 10% los sólidos orgánicos contenidos en la materia prima, en kilogramos por semana.

$$C = 76.04 + 760.4$$

$$C = 836.44 \text{ Kg.}$$

#### 5.1.7. Cálculo del tiempo de retención

El posible tamaño del digestor (volumen del digestor) es determinado por el tiempo de retención (TR) y por la carga semanal. Se recomienda escoger el TR apropiado de acuerdo a la temperatura promedio del sitio en el cual va a operar, utilizando la relación generada en la ecuación:

$$TR = (-51.227 \times \ln(T^{\circ}C) + 206.72)$$

donde,

TR = Tiempo de retención en días

Ln = Logaritmo natural

T°C = Temperatura promedio en grados centígrados del sitio donde se instalara el Biodigestor.

Se maneja, la temperatura promedio de Bogotá que es de 13 °C, dejando resaltar que la temperatura por debajo del nivel del suelo es mayor (información que no se posee).

$$TR = ( -51.227 \times \ln ( 13 \text{ }^{\circ}\text{C} ) + 206.72 )$$

$$TR = 75.32 \text{ días}$$

5.1.8. Volumen del digestor.

$$Vd = C \times TR \times 1,2$$

donde,

Vd = Volumen del digestor en litros

C = Carga diaria para alimentar el digestor en litros por día.

TR = Tiempo de retención en días.

1,2 = Volumen adicional para el almacenamiento del biogás

C = 119.49 litros / día

$$Vd = 119.49 \times 75.32 \times 1.2$$

$$Vd = 10799.9 \text{ litros.}$$



## 5.2 COSTO DE CONSTRUCCIÓN

DETALLE DE INVERSIÓN	U-M.	COSTO UNITARIO(\$)	CANTIDAD	COSTO PARCIAL(\$)
PRELIMINARES				
Terreno	m <sup>2</sup>		98	
Excavación mecánica	m <sup>3</sup>	8.000	195	1.560.000
CONFORMACIÓN TANQUE DE CARGA				
Concreto de 3000 psi	m <sup>3</sup>	115.400	0.5	57.700
Malla electrosoldada 2.35*6.0 m (NTC- 2310) Ø 6 mm.	m	68.000	1	68.000
Válvula 2 “		68.440	1	68.400
Ladrillo común recocida		270	120	32.400
TANQUE DE ALMACENAMIENTO				
Concreto de 3000 psi	m <sup>3</sup>	115400	1	115.400
Malla electrosoldada 2.35*6.0 m (NTC- 2310) Ø 6 mm.	m	68000	2	136.000
Válvula 2”		68440	1	68.440
Ladrillo común recocido		270	135	36.450
BIODIGESTOR				

Concreto de 3000 psi	m <sup>3</sup>	115.400	4	461.600
Cemento 50 Kg	Bulto	8.500	22	187.000
CONDUCCIÓN				
Tubería PVC 2"	m	86.200	26	2.241.200
<b>TOTAL</b>				<b>5.146.300</b>

#### MANO DE OBRA

	HH/Día	Costo H.H	DURACIÓN OBRA (días)	COSTO PARCIAL (\$)
OPERARIO	8	11.607,142	7	650.000
ADMINISTRADOR	8	44.642,856	7	2.500.000
<b>TOTAL</b>				<b>3.150.000</b>

#### COSTOS INDIRECTOS

IMPUESTO DE CONSTRUCCIÓN (2,6 %DEL TOTAL DE LA OBRA)	215.703
---	---------

#### TOTAL COSTOS

<b>SUBTOTAL</b>	8.512.003
<b>ADMINISTRACIÓN (8%)</b>	680.960
<b>IMPREVISTOS (6%)</b>	510.720
<b>UTILIDAD (7%)</b>	595.840
<b>TOTAL</b>	10.299.523

## **6. RECOMENDACIONES**

### **OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA DE BIOGÁS**

El manejo es la clave para el éxito de un sistema de biogás. Muchos sistemas han fallado porque los operadores no tienen soporte técnico, tiempo, conocimiento o el interés requerido para mantener el sistema operando. El propietario debe saber que un digestor requiere regular atención, y algo de tiempo. El manejo adecuado requiere lo siguiente:

- Soporte Técnico. Existen componentes claves del sistema con los cuales el operador del Biodigestor debe familiarizarse. El fabricante o distribuidor debe enseñar al propietario la operación y el mantenimiento del sistema de biogás con los estándares básicos en aspectos de ingeniería sobre la utilización del equipo, con un conocimiento completo sobre los aspectos de seguridad industrial, para que estén preparados para reconocer los problemas y como resolverlos. Es importante recomendar que existirán casos en los que deba requerirse el soporte técnico competente del fabricante o distribuidor.
- Mantenimiento. Los conocimientos generales incluyen reparación de motores, Mantenimiento y revisión, reparación y control de problemas y averías, tuberías y soldadura. Adicionalmente, el servicio y reparación de partes deben ser accesibles. El acceso a estos servicios es una consideración importante cuando se toma la decisión de adquirir el sistema.
- Tiempo. El sistema requiere un tiempo de dedicación. El mantenimiento y monitoreo diario de un sistema toma aproximadamente 15 a 30 minutos. Adicionalmente, también se requiere tiempo para una eventual reparación o para mantenimiento preventivo.

## **GARANTÍA DE CALIDAD**

El factor crucial es la identificación el diseño de planta apropiado que cumpla con los requerimientos de uso para todo el proyecto.

Algunas garantías de funcionamiento deben considerar los factores que se describen a continuación:

### **a) De la materia prima**

Los Operarios deben tener conocimiento de los peligros de enfermedades producidas por residuos orgánicos, por lo que necesitan entrenamiento especial para evitar riesgos para la salud tanto como el riesgo de llevar enfermedades a otros lugares, los principales riesgos se describen a continuación:

- **Patógenos**

Las materias primas inevitablemente contienen agentes patógenos de plantas o animales (como Salmonela) y parásitos (como Cryptosporidium) en diferentes grados y en diferentes materiales, los cuales pueden ser peligrosos para la salud humana y animal.

El proceso de digestión anaerobia que se realiza en el digestor probablemente no eliminará totalmente los agentes patógenos presentes en la materia prima, por lo que se necesita bastante precaución. En algunos casos, dependiendo de la cantidad inicial de patógenos presentes en la materia prima, los niveles de estos luego de la digestión permanecerán lo suficientemente altos para causar enfermedades en aquellas personas que trabajan con las materias primas antes y después del tratamiento, o que puedan tener algún contacto con dichas materias primas. A los trabajadores debe indicárseles el nivel de riesgo y las medidas que se tomarán para controlarlo. Esta es un área muy compleja que continúa en

investigación. Los peligros se reducen si se toman algunas precauciones, tales como:

- Utilizar fuentes de materia prima conocidas y fiables
- Control de calidad cuidadoso y análisis de materias primas

### **PRÁCTICAS QUE DISMINUYEN EL CONTENIDO DE SÓLIDOS**

La adición de agua a los residuos puede ser deliberada (ej. Procesos de adición de agua) o incidental (dilución por lluvia). Ya que el porcentaje de sólidos es el factor de control para determinar cual digestor utilizar, conocer el grado de dilución de los sólidos con agua es importante. El exceso de agua y el volumen de residuos incrementado puede limitar la capacidad de manejo de residuos y de las instalaciones de almacenamiento.

- Proceso de adición de agua fresca.
- Dilución por lluvia.

### **RECOMENDACIONES PARA EL SISTEMA**

Para asegurar un rendimiento óptimo del digestor deben considerarse los siguientes aspectos:

- a) Nivel de amoníaco. Para un correcto funcionamiento, los niveles de amoníaco dentro de los digestores deben mantenerse por debajo de los 2000 mg/litro.
- b) Mantenimiento del pH en el digestor.

**Tabla 9 - Valores de pH para la Producción del Biogás**

<b>PH</b>	<b>Producción</b>
7–7.2	Óptimo
6.2	Retarda la acidificación
7.6	Retarda la amonización

Esto significa que la carga de fermentación no debe ser ni alcalina ni ácida. Si la carga del digestor es demasiado alta, el valor del pH disminuye. Se debe agregar correctores de pH, para aumentarlo se adiciona cal y para disminuirlo se adiciona ácido.

c) En caso de cambiar el tipo de materia prima que se utiliza para la carga, se debe redimensionar el biodigestor para adaptarlo a las nuevas condiciones.

d) No introducir en el digestor fertilizantes fosfatados. Las condiciones de ausencia de aire producen compuestos de fósforo altamente tóxicos.

e) No hacer llama en sitios cercanos.

f) No usar el gas inmediatamente después de retirar el efluente del tanque de almacenamiento del digestor. Al realizar esta operación de descarga puede producirse eventualmente un efecto de presión negativa que puede tener las siguientes consecuencias: Devolver la llama al digestor, provocando una explosión ó Introducir aire al digestor, lo cual sería nocivo para el proceso. Por ello se recomienda compensar el sistema alimentando al digestor una cantidad igual (carga diaria) al volumen de efluente retirado del tanque. Efectuada esta operación se deja transcurrir un tiempo prudencial (no más de ½ hora) para que se restablezca la presión positiva antes de usar el gas.

g) Como una buena práctica, para un esquema de cualquier tamaño se necesitará tener en cuenta que se hará cuando el digestor alcance el final de su vida útil. Algunas recomendaciones sobre la ubicación del digestor son:

- Evitar las zonas con tráfico continuo de personas o animales.
- Cerca del sitio donde se usa el efluente.
- La distancia mínima a lugares muy calientes o donde haya llama debe ser de 30 metros.
- El digestor debe ser diseñado para funcionar como parte de las operaciones de la instalación.

## **LIMPIEZA**

El digestor debe limpiarse internamente cada dos años. Para realizar esta operación se utilizarán guantes y botas de caucho y se procederá así:

- Suspenden la carga diaria.
- A los 15 días aproximadamente: Cerrar la válvula de gas y desconectar la línea de conducción. Dejar escapar el gas abriendo la válvula.
- Desocupar el digestor utilizando un balde de plástico o una bomba, si la hay. El contenido del digestor se usa como abono.
- Para efectuar una buena limpieza: Lavar las paredes, el fondo y el almacenamiento de gas con un cepillo de cerdas duras (no metálicas) y agua.
- Al final se retiran con el balde las aguas de lavado. Inspeccionar el tanque para descubrir filtraciones. Si las hay, proceder a su reparación.

## **Líneas de conducción**

- Inspección periódica (preferiblemente todos los días en el momento de efectuar la carga) de la línea de gas en las uniones, válvulas, acoples y demás accesorios para detectar fugas. Si éstas se presentan, debe procederse de inmediato a su reparación, cambiando las piezas o sellando los escapes con pegante comercial para PVC.
- Purgar periódicamente las trampas de agua y de ácido sulfhídrico, utilizando el grifo de drenaje de la respectiva caja.
- Revisar semanalmente el relleno de trampa de ácido sulfhídrico. Si el filtro, en este caso la esponjilla Bon Bril está “gastada”, remplazarlo por material nuevo para garantizar el correcto funcionamiento de la trampa.

## **Limpieza del gas**

El biogás producido usualmente necesita limpiarse a diferentes grados tan pronto como sea posible luego de su generación por dos razones principales:

- El gas es corrosivo y puede dañar los motores.
- Por razones de seguridad e higiene; se necesita realizar una evaluación de riesgo.
- Alternativamente, la zonificación puede utilizarse para excluir al personal de las áreas que puedan representar un riesgo. En general, no es aconsejable quemar el gas producido en otra parte que no sea un motor para producir electricidad o en un quemador para producir calor.



Existen diferentes formas de limpiar el gas. Lo mejor es escoger el equipo apropiado, consultar a los fabricantes sobre los mejores métodos para requerimientos de plantas específicos, y asegurar que quien va a manejarlo este completamente entrenado para operarlo eficientemente.

## **RIESGOS EN LA OPERACIÓN<sup>1</sup>**

Una buena práctica requiere una planeación y manejo cuidadosos para asegurar que el beneficio de los productos de la digestión anaerobia, incluyendo la producción sostenible de energía, sea acorde con el manejo sensitivo y efectivo del sistema. Como en todo desarrollo industrial, la operación del esquema tendrá algún riesgo de impacto ambiental negativo.

Todos estos aspectos necesitarán ser direccionados con el fin de obtener permisos y para que puedan ser realizados bajo las condiciones planeadas. Algunos de estos impactos, y por lo tanto cualquier actividad de mitigación, pueden ser despreciables en esquemas pequeños. Sin embargo, incluso los sistemas a mayor escala pueden compararse más fácilmente con otros desarrollos agrícolas que con instalaciones industriales.

En general, y especialmente en esquemas a mayor escala, se necesita atención en los siguientes aspectos:

- Emisiones al aire. Existe el potencial de emisiones de metano (gas de efecto invernadero) a la atmósfera por fugas del sistema. Es importante asegurar la combustión eficiente ya que el monóxido de carbono (por riesgos a la salud humana), los óxidos de nitrógeno (precursor de la lluvia ácida) y los

---

<sup>1</sup>. Anil K Dhussa, Designing biogás distribution system Bioenergy, Renew 2, 1983

componentes orgánicos volátiles (contaminantes tóxicos del aire) son liberados a niveles inaceptables si el biogás no se quema completamente.

- Emisiones al suelo y cursos de agua. Los cursos de agua podrían ser afectados por descargas, resultado de un almacenamiento deficiente de la materia prima, de un inapropiado almacenamiento del efluente o derrames del efluente. Se requerirán contenedores en el sitio. Si se presentan derrames accidentales o escapes que afecten los cuerpos de agua, debe notificarse inmediatamente a la autoridad ambiental. Las medidas de prevención de la contaminación de suelos deben tomarse en la etapa de planeación.
- Trazas de amoníaco y de ácido sulfhídrico pueden surgir durante la producción del gas, del almacenamiento de las materias primas y en los recipientes de mezcla o tanques transportadores. La exposición a cualquiera de estos gases puede ocasionar enfermedades o la muerte, y los niveles presentes en el biogás pueden variar amplia y cíclicamente. El dióxido de carbono, el amoníaco y el ácido sulfhídrico son todos gases tóxicos y están sujetos a regulaciones como sustancias peligrosas para la salud.
- Las personas que trabajan con sistemas de biogás deben conocer el riesgo de exposición a estos gases (y a otras sustancias peligrosas como patógenos), y tomar medidas para controlar este riesgo.
- Identificar los riesgos en el diseño del sistema, o en la etapa de construcción, que se presenten durante la operación normal o durante el mantenimiento y reparación, hará que la operación subsecuente de la planta sea más fácil.

- Una buena práctica brinda el uso de medios para controlar riesgos. Los controles pueden incluir remover los elementos tóxicos del gas, estabilizar totalmente los sistemas cerrados, sistemas que minimicen o concentren las sustancias peligrosas, sistemas de aireación local y general o, como último recurso, equipos de seguridad personal. Los controles utilizados no deben depender de la aireación (que puede crear riesgos en cualquier sitio debido a la naturaleza de los gases emitidos).

## **CONDICIONES ESPECIALES**

Utilizando la información de pasos anteriores, puede realizarse una evaluación inicial. Incluso si no se cumplen uno o más pasos aún existe la posibilidad para producir biogás bajo ciertas circunstancias.

Los siguientes tipos de condiciones especiales podrían favorecer la recuperación de gas:

- a) Problemas severos de olores. En algunas fincas, los olores asociados con residuos orgánicos atentan contra la calidad del aire, son un daño para los vecinos. En áreas donde estos problemas son significativos, la instalación de un sistema de producción de biogás será favorable, ya que este remueve los olores.

Utilizar digestores con el fin principal de control de olores, es un beneficio si los costos de no controlar son substanciales.

- b) Problemas ambientales. Los residuos orgánicos son una fuente de contaminación agrícola la cual afecta canales, suelos y aguas subterráneas. Los sistemas de biogás ayudan a reducir esta contaminación dando al propietario un punto de control y ganancia del manejo de residuos.

- c) Alto costo de la energía. Los altos costos de la energía favorecen este tipo de proyectos. Los sitios pequeños podrían mantener potencialmente proyectos de recuperación de gas rentables.
- d) Alto costo de fertilizantes comerciales

## CONCLUSIONES

- El diseño del Biodigestor de Estructura fija es el más acorde para su futura implementación en la universidad Libre, ya que este proporciona las características de impermeabilidad, resistencia a la presión, facilidad de alimentación de carga, de construcción y ubicación dentro de las instalaciones, alta capacidad de carga, larga vida útil y además su costo de construcción es muy bajo.
- El material orgánico (corte de pasto y hojas secas) estaba siendo desaprovechado, ya que no se le había dado una correcta utilidad (desecho del material y recolección por ATESA). Aprovechando su alta producción dentro de los predios de la Universidad Libre, su uso como materia prima para la transformación dentro del Biodigestor es el más apropiado, haciéndolo productivo.
- El Biodigestor como reactor es una herramienta facultativa para la implementación de nuevas tecnologías y procesos de desarrollo y producción dentro de la Universidad, ya que crea la necesidad de encontrar nuevas aplicaciones a su producto (Biogás), como también de nuevos métodos.
- El Biodigestor de cúpula fija esta acorde a las normas de calidad ISO 14000 e ISO 14001, ya que involucra objetivos ambientales mediante la implementación de tecnología para la producción limpia.

## **BIBLIOGRAFIA**

- CULTURAL, S.A. Manual de Mecánica Industrial, Tomo II, Madrid –España, 1999
- BRITISH BIOGEN, Anaerobic Digestion of farm and food processing residues, Good Practice Guidelines
- EPA, A Manual For Developing Biogas Systems at Commercial Farms in the United States, AgStar Handbook, First edition,US, July 1997
- GTZ, Difusión de la tecnología del biogás en Colombia, Cali, 1987
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS; Plantas de biogás: diseño, construcción y operación; Bogotá; 1990
- MARCHAIM, Uri; Biogas Processes for sustainable development; FAO; 1992
- MUCHE H, ZIMMERMANN H La purificación del biogás. GATE – GTZ. Lengericher Handelsdruckerei, Lengerich, Alemania, 1985.
- RITTMAN, B. & P. MCCARTY.. Biotecnología del medio ambiente: principios y aplicaciones. McGraw-Hill, Madrid, 2001, pp. 745.
- ICONTEC, Instituto Colombiano de Normas Técnicas. GUIA DE IMPLEMENTACIÓN. Bogotá 2000.
- MADIGAN, M., J. MARTINKO & J. PARKER BROCK: Biología de los microorganismos. 8º. Prentice Hall, Madrid 1999, pp. 150-155, 405-408, 465, 523-524, 582-584, 698, 712-713, 774-777

## INFOGRAFÍA

<http://www.google.com.co>

[http://www.bulltek.com/spanish\\_site/ISO14000INTRODUCCION/iso14000introduccion.html](http://www.bulltek.com/spanish_site/ISO14000INTRODUCCION/iso14000introduccion.html)

[http://www.bulltek.com/spanish\\_site/ISO14000INTRODUCCION/iso%2014000](http://www.bulltek.com/spanish_site/ISO14000INTRODUCCION/iso%2014000)

<http://www.epa.gov/ged/publica/c1756.htm>

[www.kronos.org/bitacora/6-h1/3855Viernes15-6-H1EdicionNoche.txt](http://www.kronos.org/bitacora/6-h1/3855Viernes15-6-H1EdicionNoche.txt)

<http://www.bio-tec.net/esp/biogas.html>

.